

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

VYUŽITÍ KEVLAROVÝCH VLÁKEN V ASFALTOVÝCH SMĚSÍCH

USAGE OF KEVLAR FIBRES IN ASPHALT MIXTURES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAN MAZÁČ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR HÝZL Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Jan Mazáč
Název	Využití kevlarových vláken v asfaltových směsích
Vedoucí diplomové práce	Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2015
Datum odevzdání diplomové práce	15. 1. 2016

V Brně dne 31. 3. 2015

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Sada specifikačních norem pro asfaltové směsi řady 13 108.

Sada zkušebních norem pro asfaltové směsi 12697.

Internetové zdroje.

Materiály od dodavatelů vláken.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Cílem práce bude zpracovat problematiku využití kevlarových vláken v asfaltových směsích s modifikovaným pojivem. Bude provedeno stanovení vybraných empirických a funkčních požadavků na dodané asfaltové směsi.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá tématem využití aramidových (Kevlarových) vláken v silničním stavitelství v asfaltových směsích. V teoretické části práce jsou popsány obecné vlastnosti aramidových vláken a jejich technické využití. Práce se také zabývá výzkumem a použitím aramidových vláken v zahraniční a také v České republice. V praktické části je zkoumán vliv aramidových vláken, konkrétně FORTA FI vláken ve směsi s modifikovaným pojivem do obrusné vrstvy. Součástí práce je také popis všech zkušebních metod, které byly použity během zpracování praktické části. V závěru práce jsou zhodnoceny poznatky o problematice přidávání aramidových vláken do asfaltových směsí.

Klíčová slova

asfaltové pojivo, asfaltová směs, Kevlarové vlákno, aramidové vlákno, polyolefinové vlákno, FORTA FI, funkční vlastnosti asfaltových směsí, obalovna, šíření trhlin, životnost vozovky

Abstract

Diploma thesis deals with topic of using aramid (Kevlar) fibres in road engineering in asphalt mixtures. Theoretical part of thesis is describing characteristics of aramid fibres and their technical usage. Thesis deals with research and application of aramid fibres abroad and also in Czech Republic. Practical part deals with influence of aramid fibres, namely FORTA FI fibres in mixture with modified binder for wearing course. An integral part of this thesis is a description of all methods that were used during the processing of the practical part. In the end of the thesis there are outcomes of tests and theoretical research.

Key words:

bitumen binder, asphalt mixtures, Kevlar fibre, aramid fibre, polyolefin fibre, FORTA FI, performance characteristics of asphalt mixtures, asphalt mixing plant, crack propagation, pavement durability

...

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Jan Mazáč *Využití kevlarových vláken v asfaltových směsích*. Brno, 2015. 68 s., 10 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně, dne 8. 1. 2016

.....
podpis autora
Bc. Jan Mazáč

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval zejména Ing. Petru Hýzlovi, Ph.D. za vstřícný a profesionální přístup a zejména za všechen čas a cenné rady, které mi při tvorbě práce věnoval. Dále bych chtěl poděkovat Pavlu Strakovi a Matějovi Šafránkovi za pomoc při provádění samotných laboratorních zkoušek. Poděkování patří také Ing. Zdeňku Hegrovi a společnosti Skanska asphalt s.r.o. za poskytnuté zkušební materiály a odborné podklady. V neposlední řadě děkuji celé své rodině za poskytnutou podporu po celou dobu studia.

OBSAH

1	ÚVOD.....	10
2	CÍLE PRÁCE.....	11
3	ARAMIDOVÉ (KEVLAROVÉ) VLÁKNO	12
3.1	Využití aramidových vláken	13
4	DOSAVADNÍ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	15
4.1	Zahraničí	15
4.1.1	Výzkum.....	16
4.1.2	Realizované stavby	21
4.2	Česká republika.....	24
4.2.1	Výzkum.....	24
4.2.2	Realizované stavby	27
5	POUŽITÉ MATERIÁLY	29
5.1	Kamenivo	29
5.2	Pojivo.....	30
5.3	vlákna FORTA FI.....	31
6	POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY	32
6.1	Hutnění zkušebních těles rázovým zhutňovačem	32
6.1.1	Příprava před hutněním.....	32
6.1.2	Postup hutnění	33
6.2	Hutnění desek lamelovým zhutňovačem	34
6.2.1	Příprava před hutněním.....	35
6.2.2	Postup hutnění	36
6.3	Stanovení objemové hmotnosti zkušebních těles.....	36
6.3.1	Postup zkoušky	37
6.3.2	Objemová hmotnost zkušebního tělesa.....	37
6.3.3	Míra zhutnění desky	38

6.4 Stanovení odolnosti zkušebních těles asfaltové směsi vůči účinkům vody - ITSr	38
6.4.1 Postup zkoušky	39
6.5 Zkouška pojíždění kolem	40
6.5.1 Postup zkoušky	40
6.5.2 Výpočet	40
6.6 Měření modulu tuhosti asfaltové směsi	41
6.6.1 Příprava a postup zkoušky	41
6.7 Měření nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi	43
6.7.1 Příprava a postup zkoušky	43
7 VÝSLEDKY PROVÁDĚNÝCH ZKOUŠEK	45
7.1 Stanovení objemové hmotnosti zkušebních těles	46
7.2 Stanovení odolnosti zkušebních těles asfaltové směsi vůči účinkům vody - ITSr	47
7.3 Zkouška pojíždění kolem	48
7.4 Měření modulu tuhosti asfaltové směsi	51
7.5 Měření nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi	53
8 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ	57
9 ZÁVĚR	58
10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	60
11 SEZNAM OBRÁZKŮ	62
12 SEZNAM TABULEK	64
13 SEZNAM GRAFŮ	65
14 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	66
15 SEZNAM PŘÍLOH	68

1 ÚVOD

V České republice a v celém vyspělém světě každoročně stoupá dopravní zatížení vozovek a do budoucna se dá očekávat, že tento trend bude nadále pokračovat. Z tohoto důvodu se hledají nové způsoby jak zvýšit odolnost vozovek a mnohé výzkumy se zaměřují právě na asfaltové směsi.

Mimo samotnou modifikaci asfaltu se jeví jako zajímavou alternativou vyztužování asfaltových směsí aramidovými (kevlarovými) vlákny, které roznášejí dopravní zatížení na větší plochu a oproti běžným směsím navyšují odolnost směsi proti vzniku trhlin i trvalým deformacím díky trojrozměrnému vyztužení a vysokým pevnostem těchto vláken. Zároveň aramidová vlákna mohou navyšovat životnost směsi, protože samotná vlákna nepodléhají korozi vlivem prostředí.

2 CÍLE PRÁCE

Cílem této diplomové práce je popsat aramidové (kevlarové) vlákno a zejména jeho použití v silničním stavitelství. Dále je cílem popsat stav řešené problematiky ve světě a zároveň u nás v České republice.

Hlavním cílem této diplomové práce je posoudit vliv aramidových (kevlarových) vláken v asfaltové směsi. Pro zkoušku byla zvolena směs pro obrusné vrstvy ACO 11S PmB 25/55-65, která byla jednou vyrobena standardním postupem, a do druhé směsi bylo přidáno 0,5 kg FORTA vláken na tunu směsi. Obě směsi byly vyrobeny na obalovně. Cílem je tedy porovnat vlastnosti těchto dvou směsí a zjistit vliv aramidových vláken. Pro zkoumání parametrů těchto směsí byly zvoleny tyto funkční zkoušky:

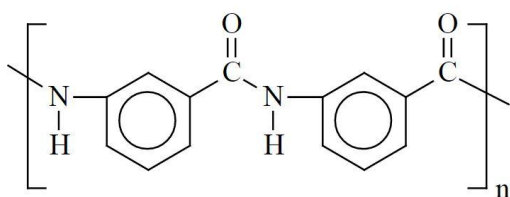
- Stanovení odolnosti zkušebních těles asfaltové směsi vůči účinkům vody - ITSR [ČSN EN 12697-12]
- Zkouška pojíždění kolem [ČSN EN 12697-22]
- Měření modulu tuhosti asfaltové směsi [ČSN EN 12697-26]
- Měření nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi [ČSN EN 12697-46]

3 ARAMIDOVÉ (KEVLAROVÉ) VLÁKNO

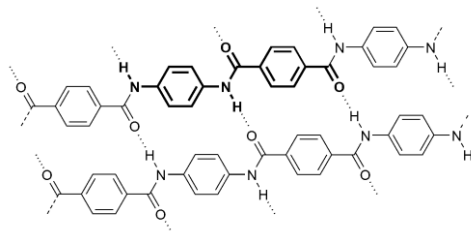
Kevlar je nejrozšířenějším a nejznámějším zástupcem vláken, která jsou obecně nazývána aramidová vlákna. Název Kevlar® je obchodní název společnosti DuPont, který byl patentovaný na začátku 70. let. [1] Tento název je v laické společnosti běžně používán pro všechna vlákna vyrobená z aramidu. Vzhledem k tomu, že přímo společnost DuPont nedodává aramidová vlákna do asfaltových směsí, bude na dále v diplomové práci použito obecného výrazu aramidová vlákna.

Aramidová vlákna jsou textilie z polyamidů s dlouhým uhlovodíkovým řetězcem. Označení polyamid vzniklo spojením slov **aromatický polyamid**. Ten se dělí na dvě základní skupiny.

- Meta-aramid – vynikající termické odolnosti a elektroizolační schopnosti
- Para-aramid – vysoké pevnosti v tahu a vysoký modul pružnosti.



Obr. 1: Struktura meta-aramidu.



Obr. 2: Struktura para-aramidu.

Počátkem 60. let přišla s výrobou aramidových vláken, konkrétně meta-aramidových, společnost DuPont. Zhruba o 10 let později vyvinula para-aramidová vlákna, jejichž nejznámějším zástupcem je právě Kevlar. [2]



Obr. 3. Nasekané aramidové vlákno společnosti Jiangsu CO., LTD. [3]

V roce 2009 se předpokládá, že bylo celosvětově vyrobeno 64 000 t aramidových vláken. V dnešní době se zabývá vývojem, výrobou a využitím aramidových vláken velké množství společností po celém světě. [4]

3.1 Využití aramidových vláken

Vzhledem k výborným mechanickým, termickým vlastnostem a elektroizolačním schopnostem se aramidová vlákna využívají v široké škále výrobků používaných v běžném životě, průmyslu i vojenství.

- **Nitě** – jemné nitě pro materiály, které musí být příjemné na dotek, např. spodní prádlo odolné proti mechanickému poškození a vysokým teplotám pro motosport nebo vojáky. [5]
- **Lana** – použití aramidových vláken zaručuje dosažení vysokých pevností lan, kdy je možné používat lana i v místech dosahujících velmi vysokých teplot. [6]
- **Tkaniny a pleteniny** – při použití aramidových vláken do tkanin je možné několikanásobně zvýšit jejich pevnost nebo odolnost proti ohni. Vyrábějí se z nich např. ohnivzdorné obleky, neprůstřelné pneumatiky, neprůstřelné vesty, motorkářské oblečení, rukavice proti pořezání, odolný povrch pro nafukovací čluny atd. [7; 8]
- **Netkané textilie** – hojně se používají do kompozitů. Například s uhlíkovými nebo skelnými vlákny. Používají se jako odlehčené nosné díly v cyklistice, automobilovém průmyslu, letectví i raketoplánech. [9]



Obr. 4: Spodní prádlo odolné proti mechanickému poškození.

Obr. 5: Vysokopevnostní kotevní lano.



Obr. 6: Odolné pracovní rukavice.



Obr. 7: Kompozitní rám kola.

V posledních 40 letech se výrobci aramidových vláken snaží najít jejich uplatnění i ve stavebnictví. Najdou využití jako vysokopevnostní nosná lana na mostech, výztuž do betonu, předpínací kabely a další tahem namáhané prvky. V případě drobných vláken mohou působit jako 3dimenzionální výztužení betonu i asfaltových směsí. Právě principem a vývojem výztužení asfaltových směsí se zabývá následující kapitola.

4 DOSAVADNÍ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

4.1 Zahraničí

Využití syntetických, zejména aramidových vláken jako vyztužovacího prvku do stavebních materiálů jako první ve Spojených státech amerických představila v roce 1978 společnost FORTA Corporation. O 4 roky později byla patentována první vlákna pro vyztužování asfaltových směsí.

V dnešní době se používají vlákna ze směsi aramidových a polyolefinových vláken. Poměr závisí na teplotách zpracování směsi. Dnes se používají tři druhy směsí vláken:

- HMA Blend (*Hot Mix Asphalt*) – používáný pro horké směsi, pracovní teploty od 121°C do 190°C.
- WMA Blend (*Warm Mix Asphalt*) – používáný pro teplé směsi, pracovní teploty od 100°C a vyšší.
- PAT Blend (*Hot/Cold Patch*) – používáný pro všechny druhy směsí, všechny pracovní teploty asfaltových směsí. [10]



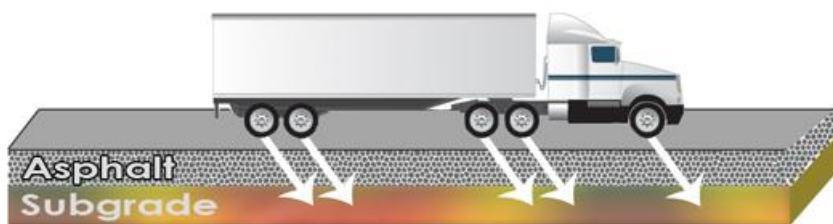
Obr. 8: Vlákna HMA Blend.

HMA a WMA Blend se přidávají přímo do míchacího bubnu na obalovně, kde se promíchají po celém objemu směsi. Vlákna PAT jsou určena pro směsi na lokální opravy, je možné je přidat i na stavbě do směsi, pouze musí být směs dobře rozmíchána, aby se vlákna rovnoměrně rozprostřela po celé směsi. [10]

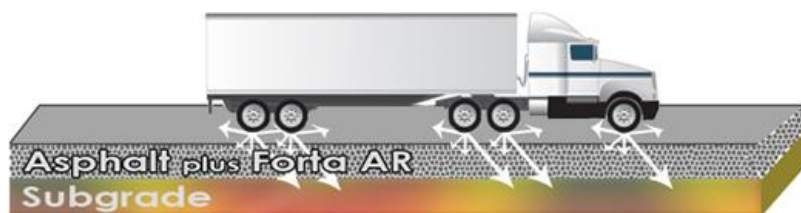
Principem fungování těchto vláken v asfaltových směsích je přidání těchto vláken, která mají vysokou tahovou odolnost, nízkou hmotnost, nekorodují a mají

vysokou teplotní odolnost. Tyto vlákna zajistí trojrozměrné vyztužení asfaltové směsi po celém objemu. Tím zajistí:

- **Roznos zatížení do všech směrů** – Tuhá vrstva vozovky roznáší zatížení na větší plochu a tím ulehčuje svému podloží.
- **Zabraňuje vzniku trhlin** – původem reflexním, únavovým a dalším, protože dokáže přenášet menší taková napětí. [10]



Obr. 9: Nevytužená asfaltová směs. Roznos zatížení při brzdění.



Obr. 10: Vyztužení asfaltová směs. Trojrozměrné rozložení sil při brzdění.

4.1.1 Výzkum

Ve spolupráci se společností FORTA byl v roce 2008 na **Arizona State University** (ASU) proveden obsáhlý výzkum vlivu FORTA vláken v asfaltové směsi. Byl vybrán testovací úsek, ve kterém byly položeny tři druhy směsí a pro laboratorní zkoušky odebrány přímo ze stavby. [11]

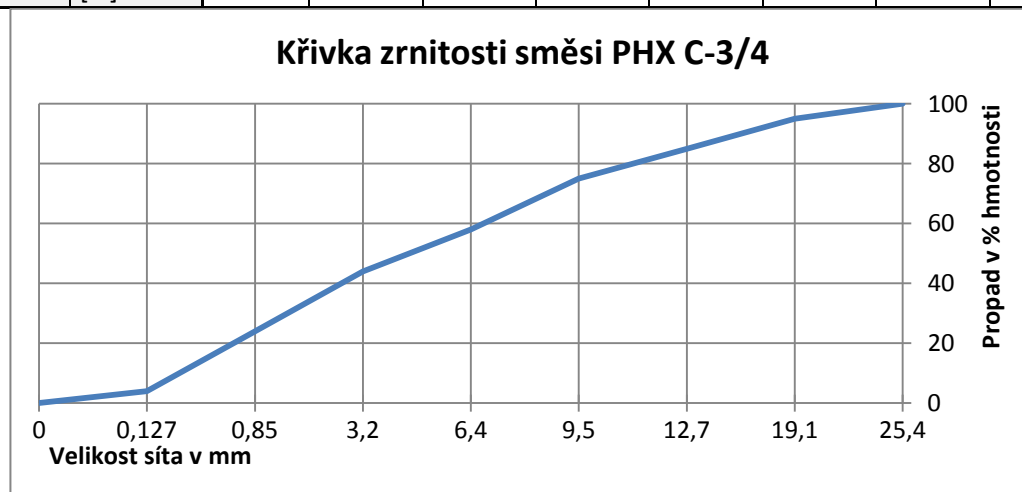
- PHX C–3/4 Control
- PHX C–3/4 1 lb/Ton
- PHX C–3/4 2 lb/Ton

Tyto směsi jsou v základu totožné, pouze do druhé směsi bylo přidáno 1lb (0,454 kg) a do druhé 2lb (0,907 kg) HMI FORTA vláken na tunu. Všechny směsi obsahují asfaltové pojivo PG 70-10 a kamenivo frakce od 0 do 0,7" (palce). Všechny materiály se používají podle platné normy používané ve Spojených státech amerických. Asfaltové pojivo se značí podle Kalifornského značení, které vešlo v platnost v roce 2006. Označení pojiva PG 70 – 10 udává rozsah teplot do kterých

je navrženo. Toto pojivo je určeno do pouštních oblastí při maximálních průměrných 7 denních teplotách 70°C a minimálních průměrných 7 denních teplotách -10°C. [12] Pojivo není modifikováno. Penetrace pojiva je podle zkoušek 30,1 penetračních jednotek (jednotka je 0,1 mm). Laboratoř dále simulovala modifikaci pojiva polypropylenovými vlákny obsaženými ve směsi HMI. Dosažená penetrace se u pojiva s 1 lb/tunu změnila na 23,4 penetračních jednotek a u pojiva 2lb/tunu na 22,7 penetračních jednotek. Použité kamenivo je popsáno propadem na sítu v následující tabulce 1 a grafu 1.

Tab. 1: Propad kameniva na sítu, směsi PHX C-3/4.

Síto	[palce]	1	0,75	0,5	0,38	0,25	0,125	0,033	0,005
	[mm]	25,4	19,1	12,7	9,5	6,4	3,2	0,85	0,127
Propad	[%]	100	95	85	75	58	44	24	4



Graf 1: Křivka zrnitosti kameniva použitého pro testovanou směs PHX C-3/4.

ASU provedla několik zkoušek, pro zjištění vlivu těchto vláken ve směsi, jmenovitě:

- Zkouška triaxální smykové pevnosti.
- Zkouška odolnosti proti trvalým deformacím.
- Zjištění dynamického modulu asfaltové směsi (modul tuhosti).
- Nepřímá tahová pevnost (nízkoteplotní vlastnosti).
- Zkoušku šíření trhliny.
- Zpětná extrakce FORTA vláken ze směsi.

Vzhledem k rozdílnosti norem popíšu závěry těchto zkoušek slovně.

Zkouška triaxální smykové pevnosti

- Zkoušky byly provedeny při teplotě 54,4°C.
- Obě směsi s vlákny dosahovaly vyšších hodnot c' , tj soudržnosti díky vyztužujícímu efektu vláken. Nejvyšších hodnot soudržnosti dosáhla směs vyztužená množstvím vláken 2 lb/tunu.
- Směs vyztužená množstvím vláken 1 lb/tunu dosahovala nejlepších smykových vlastností.
- Obě směsi s vlákny vykazovaly vyšší zbytkovou reziduální energii, což naznačuje, že by směsi vyztužené vlákny měly mít vyšší odolnosti proti šíření trhliny.

Zkouška odolnosti proti trvalým deformacím

- Pro všechny zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím byl použit tlak deviátoru 105 kPa a teplota 54,4°C.
- Všechny testy byly provedeny na cylindrických vzorcích průměru 100 mm a výšky 150 mm.

Statické tečení

- Směsi vyztužené vlákny měly hodnoty doby tečení (FN) podstatně vyšší než kontrolní směs. 1 lb/tunu 9 krát delší a 2 lb/tunu 5 krát delší. To ukazuje, že směsi vyztužené vlákny lépe odolávají trvalým deformacím. Výsledky zkoušky u směsi vyztužených vláken byly velice rozdílné, což je přisouzeno nerovnoměrnému rozdělení vláken v celkovém objemu směsi.
- Výsledky parametru sklonu z křivky tečení ukázaly, že kontrolní směs měla 7 krát vyšší sklon než směs 1 lb/tunu a 3 krát vyšší než 2 lb/tunu. Vyšší sklony indikují větší náchylnost směsi k trvalým deformacím.

Zkouška tečení při opakované zátěži

- Hodnota doby tečení (FN) pro směs 1 lb/tunu byla 115 krát vyšší než kontrolní směs a směs 2 lb/tunu měla hodnoty tečení (FN) 20 krát vyšší než směs kontrolní. Směsi vyztužené vlákny ukázaly velice rozdílné výsledky, což je opět přisuzováno nerovnoměrnému rozdělení vláken v celkovém objemu směsi.

- Výsledky křivky trvalé deformace ukázaly, že kontrolní směs měla strmější křivku trvalé deformace než směsi vyztužené vlákny. Strmější sklony indikují větší náchylnost směsi k trvalým deformacím.
- Kontrolní směs měla strmější křivku přetvoření v porovnání se směsmi vyztuženými vlákny. Směs 1 lb/tunu měla strmější sklon než směs 2 lb/tunu. Měně strmá křivka v průběhu terciální fáze znamená, že má směs lepší potenciál odolávat smykovému porušení a také znamená nižší hodnotu trvalé deformace a tím odolnosti proti vyjetí kolejí.
- Výztuž aramidovými vlákny poskytuje směsi odolnost proti smykovému poškození v terciální fázi trvalých deformací. Směsi vyztužené vlákny mají méně strmé křivky, a proto jsou schopny uchovávat více energie než běžné směsi před i po terciálním tečení.

Zjištění dynamického modulu asfaltové směsi (modul tuhosti)

- Všechny vzorky byly zkoušeny při teplotách -10°C; 4,4°C; 21,1°C; 37,8°C a 54,4°C a při zatěžovacích frekvencích 0,1; 0,5; 1; 5; 10 a 25 Hz.
- Směs 1lb/tunu měla vyšší modul než kontrolní směs, což ukazuje, že vlákna zvyšují modul směsi, a tím jeho odolnost proti trvalým přetvořením. Směs 2lb/tunu neprokázala žádné zlepšení oproti kontrolní směsi.
- Dávkování 2lb/tunu může být užitečné pouze při nižších teplotách, při vyšších teplotách neposkytuje žádnou výhodu.

Nepřímá tahová pevnost (nízkoteplotní vlastnosti)

- Zkouška byla provedena při teplotách -10°C, 0°C a 10°C.
- Při vyšší teplotě měla směs 2 lb/tunu větší tahovou odolnost než směs 1 lb/tunu i kontrolní směs. Při nižší teplotě měla opět směs 2 lb/tunu větší tahovou pevnost než směs 1 lb/tunu, kontrolní směs dosahovala nejmenších pevností
- Pevnost v tahu se s poklesem teploty zvyšovala u všech směsí. Tahové pevnosti směsí s vlákny dosahovaly 1,5 krát vyšší pevnosti než směs kontrolní.

- Při 10° byla tahová pevnost směsi 2 lb/tunu asi o 35% větší než u směsi 1 lb/tunu a kontrolní směsi. Při teplotě 0°C byl rozdíl tahové pevnosti zhruba 15% mezi směsmi vyztuženými vlákny a kontrolní směsí. Při teplotě -10°C byl rozdíl mezi vyztuženými směsmi a kontrolní směsí okolo 10%.
- Při porovnání směsí s vlákny oproti kontrolní směsi měly směsi s vlákny dvojnásobnou energii při porušení.
- Při teplotě 10°C prokazovala směs 2 lb/tunu nejvyšší lomovou energii. Při teplotě 0°C měly shodně nejvyšší lomovou energii směsi s vlákny, stejně jako při teplotě -10°C.

Zkouška šíření trhliny

- Bylo zjištěno, že směsi s vlákny, zejména 2 lb/tunu, měly vyšší a strmější křivku šíření trhlin než kontrolní směs. Z toho vyplývá, že směsi s vlákny mají lepší schopnost odolávat šíření trhlin, díky vyztužujícím vlastnostem aramidových vláken. Zároveň větší množství vláken zvyšuje tuto odolnost.

Zpětná extrakce FORTA vláken ze směsi

- Ve směsi 1lb/tunu bylo extrahováno v průměru o 6% méně pojiva, než je uvedeno v receptuře směsi. Obsah kameniva byl téměř totožný s recepturou směsi.
- Mezi vzorky ze směsi 1 lb/tunu byl při extrakci zjištěn rozdíl 0,3 g vláken. Tento rozdíl vysvětloval velké rozdíly v době tečení (FN) mezi těmito vzorky. Tím ukazuje, jak malé množství vláken dokáže změnit chování směsi. [11]

4.1.2 Realizované stavby

Jackson Hole Airport, USA



Obr. 11: Realizace rekonstrukce Jackson Hole Airport. [10]

Rekonstrukce přistávací dráhy Jackson Hole Airport je jeden z nejvýznamnějších realizovaných projektů s použitím aramidových vláken. V tomto projektu byla použita vlákna o délce 38 mm. Runway je délky 1 966 m. Roční sněhové srážky dosahují výšky 7,62 m, roční teploty se pohybují mezi -40 až 40°C. Runway byla značně poškozována zejména častým plužením.

V roce 2009 byla provedena tato rekonstrukce povrchu přistávací dráhy. Po třech letech byl povrch testován a na základě výborných výsledků společnost FORTA doporučuje vlákna pro použití obrusných vrstev přistávacích ploch. [10]

Sheridan Country Airport, USA



Obr. 12: Realizace rekonstrukce Sheridan Country Airport. [10]

Opět bylo použito vláken o délce 38 mm z důvodu zabránění vzniku trhlin a vzniku kolejí extrémními teplotami a sněžným plužením. Na toto letiště bylo nabaleno zhruba 6 000 t asfaltové směsi. [10]

Pie Crust Roadway, Minnesota, USA (bažinatá oblast)



Obr. 13: Porovnání po rekonstrukci, pruh bez aramidových vláken a pruh s aramidovými vlákny [10].

Drtivá většina povrchu byla těžce narušena prasklinami z důvodu nestabilního podloží v bažinaté oblasti a každoročního promrzání vozovky. Celková rekonstrukce nebyla možná z důvodu nedostatku financí. Většinou byla vozovka po dvou letech odfrézována a položena nová. V roce 2009 bylo jako řešení zvoleno položit jeden pruh směsí bez vláken a druhý pruh s aramidovými vlákny. Po třech letech směs s aramidovými vlákny prokázala vyšší odolnost proti prokopírování trhlin z podloží a vzniku mrazových trhlin. [10]

Ogden Avenue, Las Vegas, USA



Obr. 14: Zrekonstruovaná komunikace Ogden Avenue. [10]

Tato komunikace je zatížena velkým množstvím městské hromadné dopravy, zejména autobusů. Celkem byla nabalena nová vrstva o mocnosti 120 mm, z toho horních 60 mm ze směsi s aramidovými vlákny. [10]

St. Petersburg, Russia



Obr. 15: Realizace rekonstrukce komunikace u Petrohradu. [10]

Komunikace má vysoké dopravní zatížení. Roční teploty se pohybují v rozmezích od -40°C do 30°C se silnými zimami s několika cykly mrznutí/rozmrznutí. Aramidová vlákna byla použita, aby zabránila zejména vzniku trhlin. [10]

Cordoba, Spain



Obr. 16: Realizace rekonstrukce konektoru dálnice. [10]

Tento konektor dálnice je zatížen vysokým dopravním zatížením a zejména vysokými letními teplotami. Obrusná vrstva s aramidovými vlákny byla zvolena 5 cm.

Dále byly směsi s aramidovými vlákny položeny například v Íránu, před Islamic Azad University, Isfahan z důvodu testování místních klimatických podmínek a k seznámení místních studentů s touto technologií. [10]

4.2 Česká republika

4.2.1 Výzkum

V roce 2010 na ČVUT ve spolupráci se společností Eurovia Seviles, s.r.o. proběhla studie za účelem posoudit vliv vláken FORTA FI v asfaltových směsích.

FORTA FI byla přidána do třech směsí ACO 11S, ACL 22S. Bylo použito silniční nemodifikované pojivo gradace 50/70. Vliv vláken byl sledován dvěma způsoby. Za prvé byl pozorován vliv vláken ve směsi při porovnání s identickou směsí bez vláken. Za druhé byla zjišťována možnost zaměnitelnosti asfaltových směsí s modifikovaným pojivem za směsi s běžným asfaltovým pojivem 50/70 s vlákny FORTA FI. Ve směsích bez vláken byla použita pojiva PmB 25-55/60 a PmB 45/80-55. [13]

Zkoušená pojiva bez vláken

- ACO 11S 50/70
- ACL 22S 50/70
- ACO 11S PmB 45/80-55
- ACL 22S PmB 25-55/60

Pojiva s vlákny FORTA FI

- ACO 11S 50/70 FORTA FI
- ACL 22S 50/70 FORTA FI

Ze studie byly vybrány laboratorní zkoušky, které byly provedeny i v této diplomové práci za účelem porovnání výsledků.

- Odolnost asfaltové směsi vůči tvorbě trvalých deformací – pojezd kolem
- Modul tuhosti

Odolnost asfaltové směsi vůči tvorbě trvalých deformací – pojezd kolem

- Zkušební teplota 50°C,
- tl. pryžové obruče 50 mm,

- zatížení na kolo 700 N,
- velikost zkušebního vzorku pro asfaltovou směs typu ACO 11S 320x260x40 mm,
- velikost zkušebního vzorku pro asfaltovou směs typu ACL 22S 320x260x60 mm.

V následujících tabulkách jsou popsány výsledky odolnosti asfaltových směsí vůči tvorbě trvalých deformací.

Tab. 2: Výsledky odolnosti asfaltové směsi ACO 11S (Zbraslavice) vůči tvorbě trvalých deformací.

Směs ACO 11S (Zbraslavice)			
Vlastnost	50/70 FORTA FI	50/70	Požadavek ČSN EN 13108-1
WTS _{AIR} v mm/10 ³ cyklů	0,026	0,032	0,070
PRD _{AIR} v %	3,93	5,15	5,00

Tab. 3: Výsledky odolnosti asfaltové směsi ACO 11S (EUROVIA) vůči tvorbě trvalých deformací.

Směs ACO 11S (EUROVIA)			
Vlastnost	50/70 FORTA FI	PmB 45/80-55	Požadavek ČSN EN 13108-1
WTS _{AIR} v mm/10 ³ cyklů	0,050	0,024	0,070
PRD _{AIR} v %	5,98	5,48	5,00

Tab. 4: Výsledky odolnosti asfaltové směsi ACL 22S (EUROVIA) vůči tvorbě trvalých deformací.

Směs ACL 22S (EUROVIA)			
Vlastnost	50/70 FORTA FI	PmB 25-55/60 ss	Požadavek ČSN EN 13108-1
WTS _{AIR} v mm/10 ³ cyklů	0,50	0,024	0,050
PRD _{AIR} v %	2,91	2,05	3,00

Z výsledků zkoušek je zřejmé že FORTA FI vlákna zlepšila odolnosti asfaltové směsi vůči tvorbě trvalých deformací u směsi s běžným silničním pojivem 50/70. Při porovnání s modifikovanými pojivy již nedosahovala takových odolností, ale vzhledem ke svým dostatečným výsledkům mohou být alternativou modifikovaným pojivům. [13]

Modul tuhosti (4BP-PR)

Zkoušky probíhaly za těchto podmínek:

- rozměry vzorku 50x50x405 mm,
- teplota vzorků 2 hod před zkouškou,
- Zkušební teplota 15 a 20°C,
- frekvence zatěžování 2,5,8,10,20 a 30 Hz,
- hodnota modulu odečtena po 100 cyklech,
- zkušební vzorek zatěžován kolmo na směr hutnění,
- vzorky zkoušeny bez přestávky pro všechny frekvence.

Normou stanovená teplota stanovení modulu tuhosti je 20°C a zkušební frekvence 8 Hz. Z dosud získaných měření se jeví teplota 15°C jako vhodnější a proto byly provedeny zkoušky při obou teplotách.

Tab. 5: Moduly tuhosti směsí v závislosti na zkušební teplotě a zkušební frekvenci.

Asfaltová směs	Teplota	Zkušební frekvence v Hz						
		2	5	8	10	20	30	2
ACO 11S 50/70 FORTA FI	15°C	6273	7191	7650	8874	10175	11246	6350
	20°C	4045	4897	5323	6228	7133	7931	3833
ACO 11S PmB 45/80- 55	15°C	5644	6430	7145	8431	9646	10432	5502
	20°C	4054	4875	5478	6464	7724	8381	3944
ACL 22S 50/70 FORTA FI	15°C	7683	9189	10135	11766	13399	14669	8025
	20°C	5265	6515	7302	8517	10179	11137	5315
ACL 22S PmB 25- 55/60 ss	15°C	8134	9506	10199	12036	13680	14759	8349
	20°C	5515	6781	7550	8756	10173	11415	5677

Výsledky zkoušek ukazují, že v případě přidání FORTA FI, tedy aramidových vláken je možné dosáhnout u běžných asfaltových modulů tuhosti, které jsou srovnatelné s moduly tuhosti směsí s modifikovanými pojivy. Přímý vliv vláken ve směsích s běžnými asfaltovými pojivy nebyl posuzován. [13]

4.2.2 Realizované stavby

Příjezdová cesta k obalovně ve Vinařicích u Kladna



Obr. 17: Pokládka asfaltové směsi před obalovnou ve Vinařicích společnosti Bohemia Asfalt.

Cílem použití FORTA FI vláken bylo ověřit rozmíchání vláken ve směsi, vliv vláken na zpracovatelnost směsi, dobu a náročnost pokládky a hutnění, odolnost povrchu při velkém zatížení.

Byla položena ložná vrstva o tl. 6 cm a obrusná vrstva o tl. 4 cm. Celkem bylo nabaleno 560 tun a bylo přidáno 0,5 kg vláken na tunu směsi.

Při míchání při teplotě 170°C nebyl zjištěn ani jeden nerozmíchaný shluk vláken, vizuální kontrola proběhla v pořádku.

Při pokládce nebyl zaznamenán žádný rozdíl oproti pokládce běžné směsi.

Hutnění směsi proběhlo při stejné rychlosti a počtu pojezdů. Dle vedoucího pokládky a dalších pracovníků pokládky se směs chovala lépe než směsi s modifikovanými pojivy, u kterých se směs může lepít na hutnící válce.

Obecně se směs při balení a pokládce chovala lépe nebo stejně než běžné směsi. Výsledky z dlouhodobého pozorování zatím nebyly zveřejněny. [14]

Odstavná plocha, SKANSKA a.s., Olomouc



Obr. 18: Pokládka asfaltové směsi před sídlem společnosti SKANSKA v Olomouci.

Společnost SKANSKA se v létě 2015 pro vlastní zkušební účely rozhodla položit směs s FORTA FI vlákny na odstavnou plochu před sídlem společnosti v Olomouci. Pokládka směsi proběhla bez problémů, srovnatelně s běžnými asfaltovými směsmi. Společnost bude nadále monitorovat stav položené směsi.

5 POUŽITÉ MATERIÁLY

Společností Skanska Asphalt s.r.o., byly dodány dvě asfaltové směsi z Olomoucké obalovny Hněvotín.

1. ACO 11S PmB 25/55-65
2. ACO 11S PmB 25/55-65 do této směsi bylo dávkováno 0,05% FORTA FI vláken na tunu směsi (0,5 kg/t).

První zmiňovaná směs je běžně používanou, schválenou směsí společnosti Skanska Asphalt s.r.o. V druhém případě do této směsi pro obrusné vrstvy bylo dávkováno 0,05% FORTA FI vláken na tunu. Cílem této práce je porovnat tyto dvě směsi.



Obr. 19: Pohled na Olomouckou obalovnu Hněvotín. [15]

5.1 Kamenivo

Kamenivo ve zkoušených asfaltových směsích je běžně používané Olomouckou obalovnou Hněvotín.

Bylo použito následující kamenivo: ¹

- | | |
|----------------------|-------------------|
| • JMV | – lom Vitošov |
| • SDK 0/4, prané | – lom Jakubčovice |
| • SDK 0/4, vápencová | – lom Vitošov |
| • HDK 4/8 | – lom Chornice |
| • HDK 8/11 | – lom Chornice |

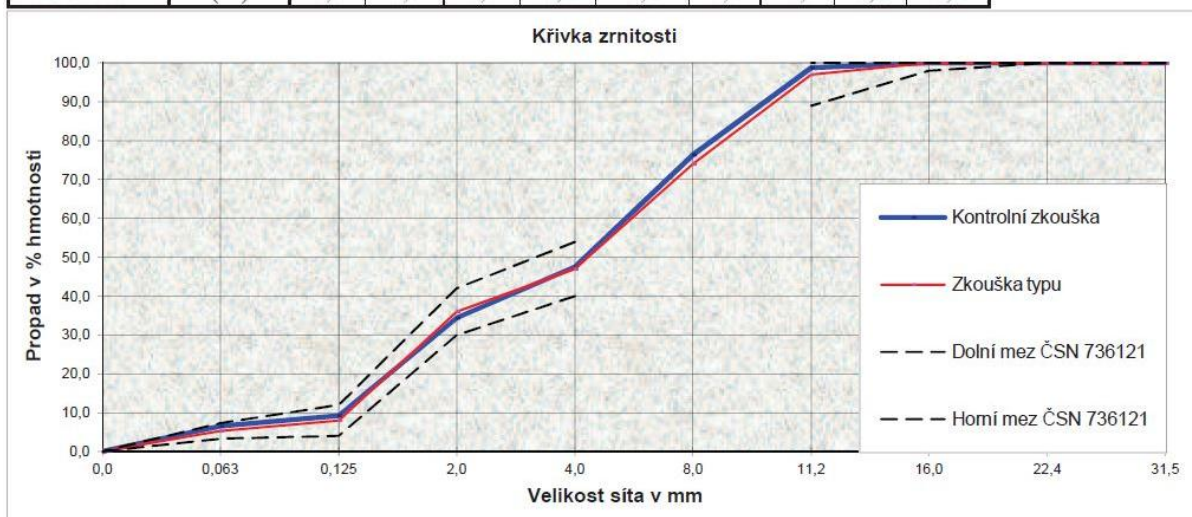
¹ JMV – jemně mletý vápenec, SDK – směs drceného kameniva, HDK – hrubě drcené kamenivo.

Více informací o kamenivu a směsi obecně v následujícím výtažku z protokolu kontrolní zkoušky asfaltové směsi.

Teplota směsi : 180 °C

KŘIVKA ZRNITOSTI

Sito	mm	31,5	22,4	16,0	11,2	8,0	4,0	2,0	0,125	0,063
Propad – KZ	%	100,0	100,0	100,0	98,8	76,4	47,5	34,4	9,2	6,5
Propad – ZT	%	100,0	100,0	100,0	97,0	74,0	47,0	36,0	8,0	5,3
Rozdíl KZ-ZT	(+-)	0,0	0,0	0,0	1,8	2,4	0,5	-1,6	1,2	1,2



OBSAH POJIVA	Předepsaný	Stanovený
v % hmot. směsi	5,7	5,99

FYZIKÁLNĚ MECHANICKÉ VLASTNOSTI

Vlastnosti (protokol č.274Hn/15)	Výsledek zkoušky	Specifikace	
		Předpis*)	Hodnota**)
Stabilita (kN) - ČSN EN 12697-34			
Přetvoření (10 ⁻¹ mm) - ČSN EN 12697-34			
Objem. hmotn. zhuštěné asf. směsi (Mg/m ³) - ČSN EN12697 - 6	2,408		
Max. objem.hmotn. asf. směsi (Mg/m ³) - ČSN EN12697 - 5	2,459		
Mezerovitost (% objemu) - ČSN EN 12697 - 8	2,1	ČSN EN 13108-1	2,0 - 5,5

Obr. 20: Výtažek z protokolu kontrolní zkoušky asfaltové směsi dodané laboratoří Hněvotín.

5.2 Pojivo

Pro výrobu obou asfaltových směsí bylo použito polymerem modifikované pojivo PmB 25/55-65 od OMV (STARFALT) modifikace SBS. Tyto asfalty mají velký rozsah plasticity, zlepšené viskoelastické chování, vysokou regenerační schopnost, vynikající adhazi za všech klimatických podmínek.

5.3 Vlákná FORTA FI

Do druhé zkoušené směsi byly přidány vlákna FORTA FI 19 mm, směs HMA. Tyto vlákna jsou navržena pro pracovní teploty 121°C – 190°C.

Vlákna jsou balena v polyetylenových sáčkích, která se přidávají přímo na obalovně do směsi v průběhu obalování zrn. Z důvodu rovnoměrného rozložení těchto vláken po celém objemu směsi je v sáčku vedle aramidových (kevlarových) vláken také významné množství polyetylenových vláken. [16]

Tyto vlákna mají ve směsi dvojí funkci.

1. Nosič pojiva.
2. Trojrozměrná vyztužovací funkce.



Obr. 21: Balená vlákna FORTA vlákna připravená k přidání do směsi na obalovně.

6 POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY

6.1 Hutnění zkušebních těles rázovým zhutňovačem

Způsob hutnění zkušebních těles asfaltových směsí je popsán v normě ČSN EN 12697-30+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem. Podstatou zkoušky je zhutnění temperovaného vzorku v ocelové formě rázovým zhutňovačem hutnícím beranem pěchu. Takto vzniklá tělesa se nazývají Marshallova tělesa.

K provedení zkušební metody je zapotřebí rázového zhutňovače, v našem případě rázový zhutňovač s ocelovým dolním podstavcem. Hutnící pěch zhutňovače se skládá z hutnícího beranu ($4\,550 \pm 20$) g a bicí hlavy ($3\,960 \pm 20$) g padajících výšky volného pádu (460 ± 3) mm. Laboratorní sušárna pro zahřátí asfaltové směsi. Hutnící forma složená z nástavce, válcové formy a podložky ($101,6 \pm 0,1$) mm, ocelová deska pro zahřátí hutnícího pěchu. V tomto případě byla použita tavná pistole. Špachtle, teploměr, separační papír a ocelová deska s válcovými podložkami pro chladnutí Marshallových těles.

6.1.1 Příprava před hutněním

K výrobě zkušebních těles se může užít asfaltová směs vyrobená v laboratoři nebo na obalovně. Z důvodu, že se množství směsi potřebné pro přípravu zkušebního tělesa stanovené výšky mění v závislosti na maximální objemové hmotnosti směsi od 1 050 g do 1 400 g, musí se množství směsi požadované pro určitou výšku stanovit provedením pokusného hutnění. Zkušební tělesa ze stejné navážky musí mít, pokud možno, stejnou hmotnost. Množství směsi připravené k hutnění nesmí být větší, než je množství požadované pro čtyři zkušební tělesa.



Obr. 22: Navážená směs připravená k rozehrání a zhutnění.

Již navážené směsi se zahřejí v laboratorní sušárně na teplotu hutnění. Na teplotu hutnění je třeba nahřát jak samotný vzorek, tak i formu a podložku hutnicího pěchu a těsně před hutněním první navážky také podložku formy a bicí hlavu.

6.1.2 Postup hutnění

V momentě kdy je navážená směs zahřátá na požadovanou teplotu zkouška může být zahájena. Na podložku smontované formy pro hutnění musí být uloženo kolečko filtračního papíru. Ohřátá směs musí být poté po částech naplněna do hutnicí formy násypkou a propíchá se tyčinkou. Po naplnění musí být povrch směsi jemně srovnán stěrkou a překryt druhým kolečkem filtračního papíru.

Zhutňování musí následovat bezodkladně. Po nasazení hutnicího pěchu musí být zkušební těleso hutněno po dobu 55 s až 60 s 25 rázy, poté je forma obrácena a těleso opět hutněno 25 rázy. Poté je těleso i s formou odstraněno ze zhutňovače, filtrační papíry odstraněny a těleso označeno pro identifikaci. V rámci diplomové práce byly tyto tělesa použity pro provádění zkoušky: ITSR (kap. 6.3).



Obr. 23: Rázový zhutňovač pro tvorbu Marshallových těles.

6.2 Hutnění desek lamelovým zhutňovačem

Způsob hutnění zkušebních těles asfaltových směsí je popsán v normě ČSN EN 12697-33 Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 33: Příprava vzorků pomocí zhutňovače desek.

Směs určená pro zhutnění se vloží do formy pod válcem. Hladký ocelový válec může působit přímo na směs, nebo je hutnicí síla přenášena ocelovými lamelami. Kolo, či válec se má posunovat konstantní rychlostí souběžně s osou desky.

K výrobě hutněných desek je potřeba lamelový zhutňovač, laboratorní sušárna pro zahřátí asfaltové směsi, krycí plech, separační prostředek, špachtle, teploměr, teplovzdušná pistole, laboratorní váha.

Lamelový zhutňovač umožňuje vytvářet desky o rozměrech 320 x 260 mm tloušťky 230 mm a menší. Obvyklé tloušťky jsou většinou od 40 do 60 mm.

6.2.1 Příprava před hutněním

Nejprve je důležité si navážit správnou hmotnost živičné směsi, která bude hutněna. Výpočet je proveden podle následujícího vzorce.

$$M = 10^{-6} \times L \times l \times e \times \rho$$

Kde	M	je hmotnost živičné směsi k hutnění [kg]
	L	je vnitřní délka formy [mm]
	l	je vnitřní šířka formy [mm]
	e	je tloušťka desky snižená o tloušťku roznášecího plechu (0,8 mm) [mm]
	ρ	je zhutněná objemová hmotnost asfaltové směsi dodaná laboratoří obalovny. [kg/m ³]

Takto zjištěná hmotnost byla použita pro hutnění první desky. Později navýšena o 0,5% z důvodu obtížné zhutnitelnosti této směsi.

Navážená směs je rozehrávána v laboratorní sušárně na požadovanou teplotu 165°C. Krátce před dosažením požadované teploty směsi je připravena forma lamelového zhutňovače, vymazáním a nahřáním, aby nedocházelo k tepelným ztrátám.



Obr. 24: Rozehřátá směs s aramidovými vlákny před hutněním. Zřetelný vliv vláken ve směsi.

6.2.2 Postup hutnění

V momentě, kdy je ve směsi naměřena požadovaná teplota, je směs přemístěna a vsypána do formy lamelového zhutňovače. Je zde kladen důraz na přesnost, aby nedošlo ke ztrátám hmotnosti směsi. Směs je špachtlí rovnoměrně rozhrnuta ve formě a rohy jsou špachtlí předhutněny. Směs je přikryta namazaným plechem tl. 0,8 mm a na něj jsou vyrovnány ocelové lamely. Následně je sepnut zhutňovač, který pojíždí povrch lamel. Je doporučeno udělat při hutnění krátkou minutovou přestávku a následně v hutnění pokračovat. Po zhutnění je deska ponechána ve zhutňovači až do vychladnutí, následně je ze zhutňovače vyjmuta. Je doporučeno následně zkontrolovat objemovou hmotnost desky.



Obr. 25: Hutnění zkušební desky lamelovým zhutňovačem.

V rámci diplomové práce byly tyto desky použity pro provádění zkoušek: Zkouška pojíždění kolem (kap. 6.5), měření modulu asfaltové směsi (kap. 6.6) a měření nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi (kap. 6.7).

6.3 Stanovení objemové hmotnosti zkušebních těles

Zkouška pro stanovení objemové hmotnosti je popsána v evropské normě ČSN EN 12697-6 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro prováděné asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa. V normě jsou popsány tyto čtyři následující postupy:

- Postup A: Objemová hmotnost – suchá.
- Postup B: Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD).

- Postup C: Objemová hmotnost – utěsněné zkušební těleso.
- Postup D: Objemová hmotnost podle rozměrů.

Pro zjišťování objemových hmotností zkušebních těles v této diplomové práci byl použit postup B: Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD), u kterého se objemová hmotnost zkušebního tělesa získá na základě jeho hmotností na suchu, ve vodě a hmotnosti nasyceného povrchově osušeného tělesa. Tímto postupem byly zjišťovány objemové hmotnosti jednotlivých desek (vyrobených dle kap. 6.2).

K provedení zkoušky jsou potřeba laboratorní váhy s přesností $\pm 0,1$ g, kovová konstrukce pro volné uchycení desky pod vodou, vodní lázeň, vlhká jelenice pro povrchové osušení tělesa.

6.3.1 Postup zkoušky

Zkušební desky je nutné očistit od případných nečistot. V momentě, kdy jsou tělesa očištěna a suchá, je možné přistoupit k samotné zkoušce.

Nejdříve je deska zvážena v suchém stavu (m_1). Poté je deska položena do nádoby s vodou – vodní lázně. Pro dostatečné nasycení vodou je nutné těleso nechat ponořené ve vodě alespoň 30 minut. Následně je těleso uloženo do kovové konstrukce, kde je zvážena jeho hmotnost ve vodní lázni (m_2). V tuto dobu je důležité zjistit teplotu vody, která je zapotřebí do výpočtu. Následně je těleso povrchově osušeno již lehce vlhkou jelenicí a okamžitě po osušení je zvážena hmotnost tělesa nasyceného vodou (m_3).

6.3.2 Objemová hmotnost zkušebního tělesa

Získané veličiny dosadíme do následujícího vzorce:

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_w$$

kde ρ_{bssd} je objemová hmotnost zkušebního tělesa (SSD) [kg/m^3]

m_1 je hmotnost suchého tělesa [g]

m_2 je hmotnost tělesa ve vodě [g]

m_3 je hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného [g]

ρ_b je hustota vody při zkušební teplotě [kg/m^3]

6.3.3 Míra zhutnění desky

Desky vyrobené v laboratoři je nutné porovnat parametrem míry zhutnění, který vychází ze vztahu:

$$C = \frac{\rho_{bssd,1}}{\rho_{bssd,2}} \times 100$$

kde C je míra zhutnění zkušební desky [%]

$\rho_{bssd,1}$ je objemová hmotnost zkušební desky [kg/m^3]

$\rho_{bssd,2}$ je požadovaná objemová hmotnost [kg/m^3]

6.4 Stanovení odolnosti zkušebních těles asfaltové směsi vůči účinkům vody - ITSr

Zkouška je popsána v evropské normě ČSN EN 12697-12 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení odolnosti zkušebních těles asfaltové směsi vůči účinku vody. Odolnost asfaltové směsi vůči účinku vody se určuje následujícím způsobem. Sada zkušebních těles ve tvaru válce se rozdělí do dvou skupin o stejné velikosti a je temperována. Jedna skupina je udržována na vzduchu při pokojové (laboratorní) teplotě, zatímco druhá skupina je navlhčena a uložena do vodní lázně se zvýšenou teplotou.

Po temperování se stanoví pevnost v příčném tahu každé ze dvou skupin v souladu s prEN (prac. pol. 00227037) při předepsané zkušební teplotě. Poměr pevnosti v příčném tahu skupiny zkušebních těles temperovaných ve vodní lázni v porovnání s pevností v příčném tahu skupiny zkušebních těles udržovaných na vzduchu se stanoví a vyjádří v procentech.

K provedení zkoušky je potřeba zkušební lis s tlačnou silou, tlačná čelist se zatěžovacími pásy, termostaticky regulovaná vodní lázeň s děrovanou podložkou, vakuový systém (čerpadlo, manometr), vakuová komora s děrovanou vložkou na dně komory, přesné laboratorní váhy a posuvné měřítko.

6.4.1 Postup zkoušky

Zkušební tělesa v minimálním počtu 6 kusů vyrobená podle ČSN EN 12697-30 jsou rozdělena na hmotnostně obdobné dvojice, jedno těleso ze dvojice bude vystaveno účinkům vody a druhé bude temperováno na vzduchu.

Skupina „mokrých“ zkušebních těles se uloží na děrovanou podložku do vakuové komory naplněné destilovanou vodou při teplotě $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ do úrovně 2-3 cm nad horní hranu vzorků. Temperování probíhá po dobu (30 ± 5) min při tlaku $(6,7 \pm 0,3)$ kPa. Následně se tělesa ponoří do vodní lázně při $40 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ na dobu (68 ± 2) h.



Obr. 26: Skupina „mokrých“ zkušebních těles ve vakuové komoře.

Obě skupiny se natemperují na zkušební teplotu $(25 \pm 1)^{\circ}\text{C}$. Následně se na všech zkušebních tělesech provede stanovení pevnosti v příčném tahu ve zkušebním lisu.

Vypočítá se poměr pevnosti v příčném tahu $ITSR$ podle vzorce uvedeného níže:

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_w}{ITS_d}$$

kde	$ITSR$	je poměr pevnosti v příčném tahu [%]
	ITS_w	je průměr pevnosti v příčném tahu skupiny „mokrých“ zkušebních těles zaokrouhlený na tři významné číslice [kPa]
	ITS_d	je průměr pevnosti v příčném tahu skupiny „suchých“ zkušebních těles zaokrouhlený na tři významné číslice [kPa]

6.5 Zkouška pojíždění kolem

Tato zkouška stanovuje náchylnost zkoušené asfaltové směsi k deformacím, které vznikají vlivem opakovaného pojezdu kolem se stálým zatížením při stálé teplotě. Zkouška je detailně popsána v Normě ČSN EN 12697-22 - Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška pojíždění kolem.

Nejdůležitějším přístrojem zkoušky je zařízení simulující pojíždění kolem na vzduchu, toto zařízení dokáže pojíždět nezávisle dvě desky zároveň. Dále je zapotřebí laboratorní sušárna pro temperování zkušebních desek. Zkušební forma o rozměrech 260 mm x 320 mm včetně podkladní ocelové desky a posuvné měřítko na zjištění tloušťky desky.

6.5.1 Postup zkoušky

Temperované těleso je umístěno již s formou do přístroje, který celý vnitřní prostor vyhřeje na 50°C a následně začne pojíždět desku gumovým kolem simulujícím zatížení od dopravy. Snímače snímají průběžné vyjetí koleje a zaznamenávají do paměti počítače.



Obr. 27: Deska umístěna ve formě do zařízení simulující pojíždění kolem.

6.5.2 Výpočet

Průměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje na vzduchu je vypočten ze vztahu:

$$WTS_{AIR} = \frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$$

kde WTS_{AIR} je přírůstek hloubky vyjeté koleje, [mm/10³ zatěžovacích cyklů],

d_{5000} je hloubka vyjeté koleje po 5000 cyklech, [mm],

d_{10000} je hloubka vyjeté koleje po 10000 cyklech, [mm].

Poměrná průměrná hloubka vyjeté koleje na vzduchu je vypočtena ze vztahu:

$$PRD_{AIR} = \frac{y_{s,10\,000}}{t} \times 100$$

kde PRD_{AIR} je poměrná průměrná hloubka vyjeté koleje po 10 000 zatěžovacích cyklech [%];

$y_{s,10000}$ je průměrná hloubka vyjetých kolejí po 10000 cyklech dvou desek [%];

t je průměrná tloušťka obou zkušebních těles [mm].

6.6 Měření modulu tuhosti asfaltové směsi

Jedná se o funkční zkoušku asfaltových směsí, při které je zjišťován modul tuhosti asfaltové směsi, podle ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost.

Tato metoda používá zkušební metodu, jejímž cílem je charakterizovat tuhost asfaltových směsí. Tyto zkoušky se provádějí na zhutněném asfaltovém materiálu při sinusovém zatížení nebo jiném řízeném zatížení s použitím různých typů zkušebních těles a podpěr.

K provedení zkoušky je zapotřebí laboratorní zkušební zařízení, které zatěžuje zkušební těleso sinusovým dynamickým průhybem o frekvenci (5 až 30 Hz). Termostatickou komoru pro temperování zkušebních těles, měřící zařízení, které se skládá ze snímače pro měření dynamické síly, snímače pro měření průhybu a zařízení měřící fázový úhel. Kovová podkladní deska, kovová čepička, epoxidové lepidlo, posuvné měřítko a zejména pilu s diamantovým kotoučem pro řezání zkušebních těles.

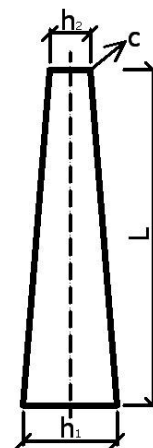
6.6.1 Příprava a postup zkoušky

Z vyrobených desek (kap. 6.2) byla pomocí kotoučové pily s diamantovým kotoučem nařezána zkušební tělesa tvaru komolého klínu (trapezoidu) pro měření komplexního modulu tuhosti a únavových charakteristik asfaltové směsi



Obr. 28: Řezání trapezoidů ze zkušební desky kotoučovou pilou.

Po zvážení a změření rozměrů byly trapezoidy ve spodní části nalepeny dvousložkovým epoxidovým lepidlem (epoxid, tvrdidlo, vysušená vápenná moučka) do speciálních kovových podložek a k horní části trapezoidu se přilepil stejným lepidlem kovový háček pro uchycení volného konce komolého klínu ke zkušebnímu zařízení.



Obr. 29: Rozměr trapezoidu a nařezané trapezoidy připravené k nalepení.

Rozměry komolého klínu (trapezoidu):

L	250 mm
$h_1...$	70 mm
$h_2...$	30 mm
$c...$	50 mm

Měřicí zařízení pro měření modulů tuhosti (harmonické zatěžování volného konce vetknutého trámečku či komolého klínu) bylo vyrobeno v Silničním vývoji Brno, nyní se nachází na VUT FAST v Brně na Ústavu pozemních komunikací.

Při měření je zkušební těleso vytemperováno na zkušební teplotu, která se standardně volí -5, +10, +15, +25 a +40°C (s tolerancí $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) a vetknuto v klimatizované komoře. Na horní část trapezoidu se přichytí táhlo se snímačem síly a deformace. Na boční obdélníkovou plochu tělesa se připojí čidlo teploměru. Modul tuhosti se měří při pěti frekvencích: 5, 10, 15, 20 a 25 Hz.

Zkušební zařízení se uvede do činnosti, změří se amplituda síly a průhybu zkušebního tělesa a fázový úhel posunu průběhu deformace za průběhem síly.

6.7 Měření nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi

Jedná se o funkční zkoušku asfaltových směsí, při které je simulováno reálné chování směsi při účincích nízkých teplot, podle ČSN EN 12697-46 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin. Pro tuto diplomovou práci byla použita metoda zkoušky nízkoteplotních vlastností s rovnoměrným řízeným poklesem teploty (tzv. TSRST), proto je dále uváděna pouze tato metoda.

K provedení zkoušky je zapotřebí zařízení pro provádění zkoušky TSRST, kovové formy pro nalepení zkušebního tělesa, centrovací rám pro přípravu zkušebního tělesa, epoxidové lepidlo, posuvné měřítko a zejména pilu s diamantovým kotoučem pro řezání zkušebních těles.

6.7.1 Příprava a postup zkoušky

Z vyrobených desek (kap 6.2) na pile nařežeme trámečky rozměru 50 x 50 x 200 mm. Z jedné desky je možné nařezat 5 trámečku, pro účely zkoušky je vhodné tři, které se nacházejí ve středu desky. Po změření rozměrů jsou nalepeny do zkušebních podložek v kovovém rámu, který zaručuje co nejpřesnější centrické nalepení vzorků. Nejprve se usadí trámeček i s podložkami do rámu nasucho bez lepidla s provedením centrace vzorku. Poté se vyjmou podložky, nanese se do vymezené části vrstva rozmíchaného dvousložkového epoxidového lepidla a umístí

se i s trámečkem do rámu. Moučka byla dávkována v takovém množství, aby při svislé poloze podložek lepidlo nestékalo. Před dotažením čelistí rámu svírajících podložky bylo nutné dotlačit podložky na čela vzorku, aby unikly vzduchové bubliny, které by mohly způsobit nedokonalé přilepení zkušebního tělesa k podložkám a následně vytržení v průběhu zkoušení. Lepidlo bylo nutné nechat tvrdnout alespoň 24 hodin.

Po době, potřebné k vytvrzení pryskyřice se těleso vyjme z centrovacího rámu a připevní se pomocí závitu v čelistích ke kardanovým závěsům zatěžovacího zařízení přístroje CYKLON-40. K čelistem ještě musíme připevnit snímače deformací. Následně se v počítači zadají rozměry tělesa a nastaví se nulová poloha snímačů deformací. Ještě před zahájením zkoušky je temperována komora na teplotu 10 °C. Poté započne řízený pokles teploty v komoře, rychlostí 10 °C/hod. V tělese tak vlivem udržování jeho konstantní délky (omezení smršťování) začne narůstat tahové (kryogenní) napětí. Toto napětí během ochlazování neustále roste, až do porušení tělesa.

Po dokončení zkoušky je jejím výstupem protokol, kde je graficky znázorněn průběh síly a deformace (zaznamenané jednotlivými snímači deformací) v závislosti na teplotě. Dále je zde uvedena teplota vzorku i komory při porušení, max. síla a max. napětí při porušení. Pro výsledek vyhodnocení jedné směsi se provede průměr dílčích výsledků ze tří zkušebních těles. Tyto dílčí výsledky by se neměly výrazněji lišit.



Obr. 30: Umístění zkušebního trámečku v zkušebním zařízení CYKLON-40.

7 VÝSLEDKY PROVÁDĚNÝCH ZKOUŠEK

Všechny postupy prováděných zkoušek byly popsány v předchozí kapitole. Výsledky těchto zkoušek byly pozorně zaznamenávány a právě tato kapitola se zabývá znázorněním jejich výsledků. Tělesa byla označována podle směsi, ze které byla vyrobena. Tělesa vyrobená ze směsi bez vláken jsou označena červeně a písmenem M, z důvodu, že pojivo je pouze z modifikovaného asfaltu. Tělesa vyrobená ze směsi obsahující FORTA vlákna jsou označena modře a písmene K od slova Kevlar.

M – tělesa ze směsi bez aramidových vláken
K – tělesa ze směsi s aramidovými vlákny

Tento způsob značení je dodržen u znázornění všech výsledků a slouží k rychlejší orientaci v tabulkách.

7.1 Stanovení objemové hmotnosti zkušebních těles

Objemová hmotnost zhutněné směsi je hmotnost vzorku vztažená k objemu vzorku včetně dutin v zrnech kameniva a mezerách mezi zrny zhutněné směsi kameniva a asfaltu. Stanovení probíhá pomocí radiosondy troxler na stavbě nebo vážením těles ve vodě a na suchu v laboratoři podle vzorce:

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_w$$

kde ρ_{bssd} je objemová hmotnost zkušebního tělesa (SSD) [kg/m³]

m_1 je hmotnost suchého tělesa [g]

m_2 je hmotnost tělesa ve vodě [g]

m_3 je hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného [g]

ρ_b je hustota vody při zkušební teplotě [kg/m³]

Objemová hmotnost byla zjištěna na obou dvou sadách zhutněných desek. A na základě výsledků byla tato tělesa určena k příslušným zkouškám.

Tab. 6: Objemová hmotnost zkušebních desek.

	suchá m_1	mokrá m_2	osušená m_3	obj. hmotnost	odchylka od obj. m.	míra zhutnění	Zkouška
	[g]	[g]	[g]	[kg.m ⁻³]	[kg.m ⁻³]	[%]	
M1	9861	5764	9885	2389,3	-18,7	99,22%	Modul tuhosti
M2	9881	5811	9898	2414,0	6,0	100,25%	Pojíždění kolem
M3	9820	5756	9849	2395,6	-12,4	99,49%	Nízkotepl. vlastnosti
M4	9825	5770	9853	2402,7	-5,3	99,78%	Modul tuhosti
K1	9867	5769	9908	2380,3	-27,7	98,85%	Modul tuhosti
K2	9954	5811	9985	2381,2	-26,8	98,89%	Modul tuhosti
K3	9842	5767	9863	2399,2	-8,8	99,64%	Nízkotepl. vlastnosti
K4	9896	5811	9924	2402,4	-5,6	99,77%	Pojíždění kolem

7.2 Stanovení odolnosti zkušebních těles asfaltové směsi vůči účinkům vody - ITSR

Tato zkouška byla provedena na marshallových tělesech vyrobených v rázovém zhutňovači podle kap 5.1. Zkouška byla provedena podle normy ČSN EN 12697-12 popsané v kap. 5.4.



Obr. 31: Marshalova tělesa ze směsi ACO 11S bez vláken.

První zkoušenou směsí byla tělesa vyrobená ze směsi bez vláken. Rozměry, hmotnosti těles a výsledky zkoušek jsou zaznamenány v následující tabulce.

Tab. 7: Vyhodnocení zkoušky ITSR směsi bez aramidových vláken

ACO 11S bez vláken										
SUCHÁ	tloušťka	průměr tělesa	hmotnost	objem z rozměrů	obj. hm. z rozměrů	max. síla	pevnost	průměr pevnosti	ITSR	
	[mm]	[mm]	[g]	[cm ³]	[g/cm ³]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[%]	
A	56,2	102,1	1044	460,13	2,269	23,36	2591,74	2574	89,4	
D	58,9	102,0	1082	481,29	2,248	23,80	2521,98			
E	59,3	101,8	1083	482,66	2,244	23,45	2472,98			
H	59,4	101,8	1078	483,47	2,230	25,73	2708,85			
B	59,1	102,1	1093	483,87	2,259	22,50	2373,83	2301		
C	57,1	102,1	1056	467,50	2,259	21,53	2351,05			
F	59,1	102,1	1081	483,87	2,234	21,02	2217,68			
G	59,1	102,0	1078	482,92	2,232	21,42	2262,10			
MOKRÁ	tloušťka	průměr tělesa	hmotnost	objem z rozměrů	obj. hm. z rozměrů	max. síla	pevnost	průměr pevnosti		ITSR
	[mm]	[mm]	[g]	[cm ³]	[g/cm ³]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[%]	

Z tabulky je zřetelné, že průměr pevnosti v příčném tahu na tělesech zkoušených za sucha a za mokra je 10,6%, tj. ne větší než 20%, proto výsledek splňuje požadavky normy.

Dále byla vyzkoušena směs s vlákny. Výsledky jsou opět zaznamenány v následující tabulce.

Tab. 8: Vyhodnocení zkoušky ITSR směsi s aramidovými vlákny.

ACO 11S s vlákny										
SUCHÁ	tloušťka	průměr tělesa	hmotnost	objem z rozměrů	obj. hm. z rozměrů	max. síla	pevnost	průměr pevnosti	ITSR	
	[mm]	[mm]	[g]	[cm³]	[g/cm³]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[%]	
A	61,1	101,3	1094	492,44	2,222	22,51	2315,29	2127	99,3	
D	60,8	102,1	1092	497,79	2,194	18,82	1930,06			
E	61,3	101,5	1085	496,00	2,187	20,87	2135,38			
B	60,4	102,1	1089	494,51	2,202	18,64	1924,26	2112		
C	60,8	102,1	1094	497,79	2,198	22,02	2258,23			
F	60,9	102	1089	497,63	2,188	21,01	2153,22			
MOKRÁ	tloušťka	průměr tělesa	hmotnost	objem z rozměrů	obj. hm. z rozměrů	max. síla	pevnost	průměr pevnosti	ITSR	
	[mm]	[mm]	[g]	[cm³]	[g/cm³]	[kN]	[kPa]	[kPa]	[%]	

Z tabulky je zřetelné, že tělesa s aramidovými vlákny zkoušená na pevnost v příčném tahu za sucha i za mokra dosahují velice podobných pevností. Rozdíl pevností je 0,7%, což je zanedbatelné a splňuje požadavky normy.

Důležitým bodem této zkoušky je, že pevnosti dosažené v tělesech ze směsi s aramidovými vlákny dosahují znatelně menších pevností než tělesa ze směsi bez vláken. Rozdíl je 200 kPa nebo větší. Pravděpodobně k poklesu pevnosti v tělesech vyrobených ze směsi s vlákny došlo z důvodu, že vlákna na sebe nabalila asfaltové pojivo a to obalilo kamenivo méně než v případě směsi bez vláken.

7.3 Zkouška pojíždění kolem

Zkouška pojíždění kolem byla provedena podle normy ČSN EN 12697-22 popsané v kap. 5.5.

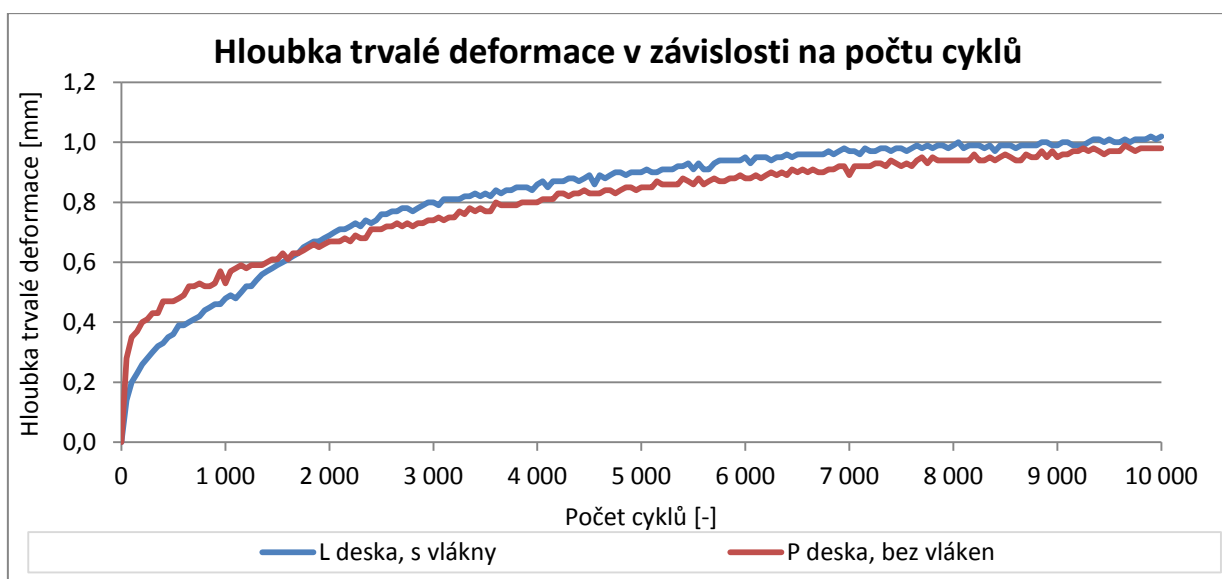


Obr. 32: Deska K4 po ukončení zkoušky pojíždění kolem.

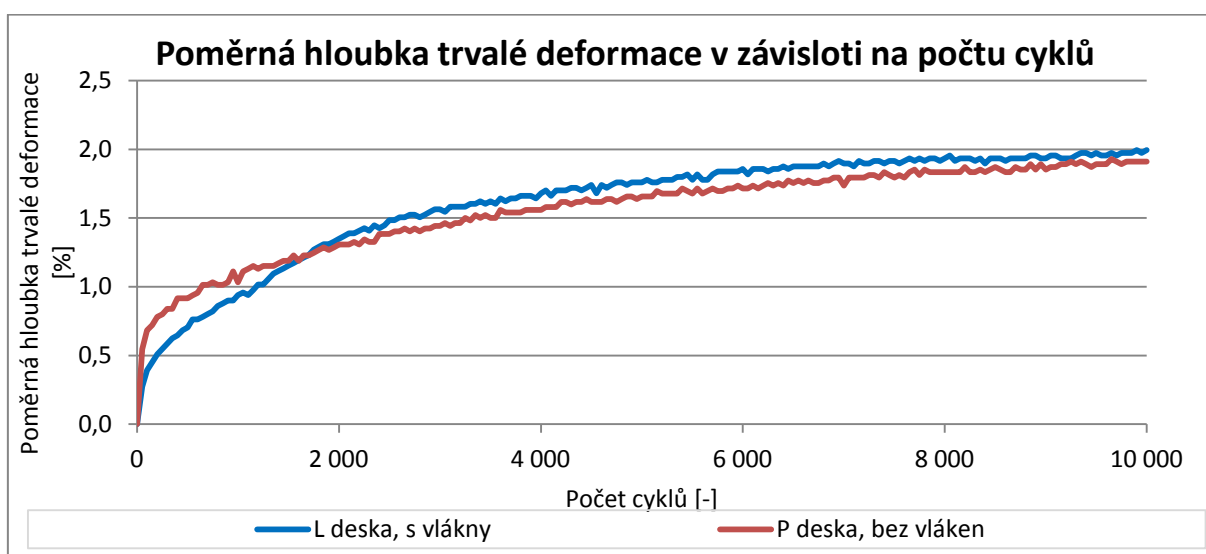
Pro tuto zkoušku byly zvoleny desky M2 a K4. Tyto desky byly pojížděny v zařízení simulujícím pojíždění kolem na vzduchu při teplotě 50°C. V následující tabulce jsou uvedeny hloubky vyjetých kolejí po 5 000 a 10 000 cyklech, průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje a průměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje po 1000 cyklech.

Tab. 9: Vyhodnocení zkoušky pojezdu kolem.

Deska	tloušťka desky	Hloubka vyjeté koleje po 5 000 cyklech $Y_{S,5}$	Hloubka vyjeté koleje po 10 000 cyklech $Y_{S,10}$	Průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje PRD_{AIR}	Průměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje WTS_{AIR}
	[mm]	[mm]	[mm]	[%]	[mm/10 ³ cyklů]
K4, s vlákny	51,2	0,90	1,02	1,99	0,024
M2, bez vláken	51,3	0,85	0,98	1,91	0,026



Graf 2: Hloubka trvalé deformace v závislosti na počtu cyklů.



Graf 3: Poměrná hloubka trvalé deformace v závislosti na počtu cyklů.

Z počátku byla na desce vyrobené ze směsi bez aramidových vláken naměřena větší hloubka vyjeté koleje. Ovšem zhruba u 1 800. cyklu se hloubka vyrovnala a na desce vyrobené ze směsi s aramidovými vlákny se začala projevovat lehce větší hloubka koleje. Po 10 000 cyklech byl rozdíl ve vyjetých hloubkách kolejí 0,04 mm, což je možné považovat za neznatelný rozdíl a tím pádem obě směsi považovat za stejně odolné proti trvalým deformacím způsobeným pojezdem kolem.

7.4 Měření modulu tuhosti asfaltové směsi

Všechny zkoušky modulu tuhosti byly provedeny podle normy ČSN EN 12697-26 popsané v kap. 5.6. Pro zkoušení byla zvolena teplota 15°C a zatěžovací frekvence 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz a 25Hz.

Jako první byly zkoušeny trapezoidy vyrobené ze směsi bez vláken. Ke zkoušení byly po konzultaci s vedoucím práce vybrány desky M1 a M2, ze kterých bylo nařezáno po 5 trapezoidech. Z důvodu poškozených těles nebo naprosto neodpovídajících výsledků byla vynechána tělesa M1/2, M4/2 a M4/4.

Tab. 10: Výsledky měření modulu tuhosti na zkušebních vzorcích bez aramidových vláken.

ACO 11S bez vláken					
tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
M1/1	8276	9011	9484	9844	10004
M1/3	7961	8672	9199	9422	9741
M1/4	7757	8511	8950	9330	9524
M1/5	7937	8711	9155	9504	9771
M4/1	8799	9475	10019	10253	10283
M4/3	8744	9524	9970	10276	10641
M4/5	8305	8967	9379	9621	10001
průměr	8254	8982	9451	9750	9995

Z desek vyrobených ze směsi s vlákny byly, opět po konzultaci s vedoucím práce, vybrány desky K1 a K2. Z těchto dvou desek bylo nařezáno opět po pěti trapezoidech, kde z důvodu nedostatečného uchycení čepičky byl odebrán ze zkušební sady vzorek K1/5.

Tab. 11: Výsledky měření modulu tuhosti na zkušebních vzorcích s aramidovými vlákny.

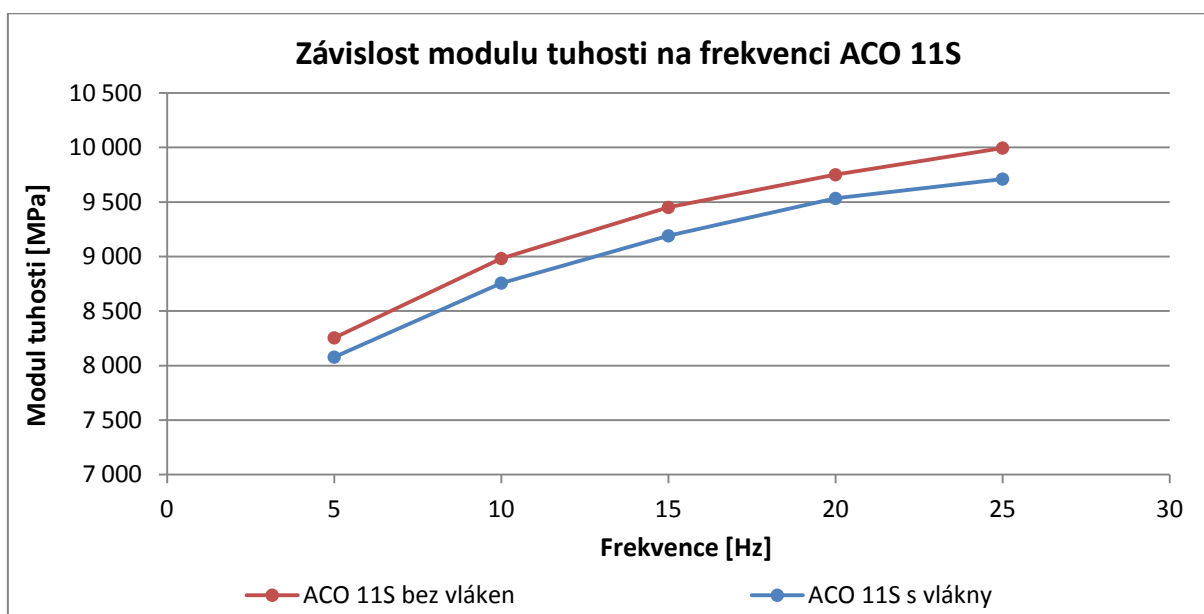
ACO 11S s vlákny					
Tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
K1/1	7619	8234	8667	8976	9210
K1/2	7720	8503	9059	9277	9520
K1/3	8203	8817	9176	9662	9714
K1/4	8548	9217	9511	10014	10137
K2/1	8239	8914	9380	9794	9746
K2/2	8445	9028	9561	9934	10351
K2/3	7757	8422	8907	9184	9363
K2/4	8175	8982	9353	9643	9896
K2/5	7991	8690	9093	9312	9457
průměr	8077	8756	9190	9533	9710

Průměrné výsledky obou směsí jsou znázorněny v následující tabulce a následně v grafu závislosti modulu tuhosti na frekvenci.

Hodnoty uvedené v tabulce jsou v jednotkách MPa.

Tab. 12: Porovnání průměrných výsledků obou směsí.

směs	Zatěžovací frekvence				
	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
ACO 11S bez vláken	8254	8982	9451	9750	9995
ACO 11S s vlákny	8077	8756	9190	9533	9710



Graf 4: Grafické zobrazení závislosti modulu tuhosti na frekvenci.

Z naměřených hodnot vyplývá, že vzorky vyrobené ze směsi s aramidovými vlákny dosahují nižších pevností než vzorky ze směsi bez vláken. Rozdíl pevností je zhruba 2,5%, což se dá v takto vysokých pevnostech považovat za rovnocenné výsledky. Vzhledem k použití kvalitního polymerem modifikovaného pojiva PmB 25/55-65, už aramidová vlákna nedokázala navýšit modul pevnosti, který je už tak velmi vysoký.

7.5 Měření nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi

Všechny zkoušky nízkoteplotních vlastností byly provedeny podle normy ČSN EN 12697-46 popsané v kap. 5.7. Pro tuto zkoušku byly zvoleny desky M3 a K3. Z každé desky byly nařezány 3 trámečky.



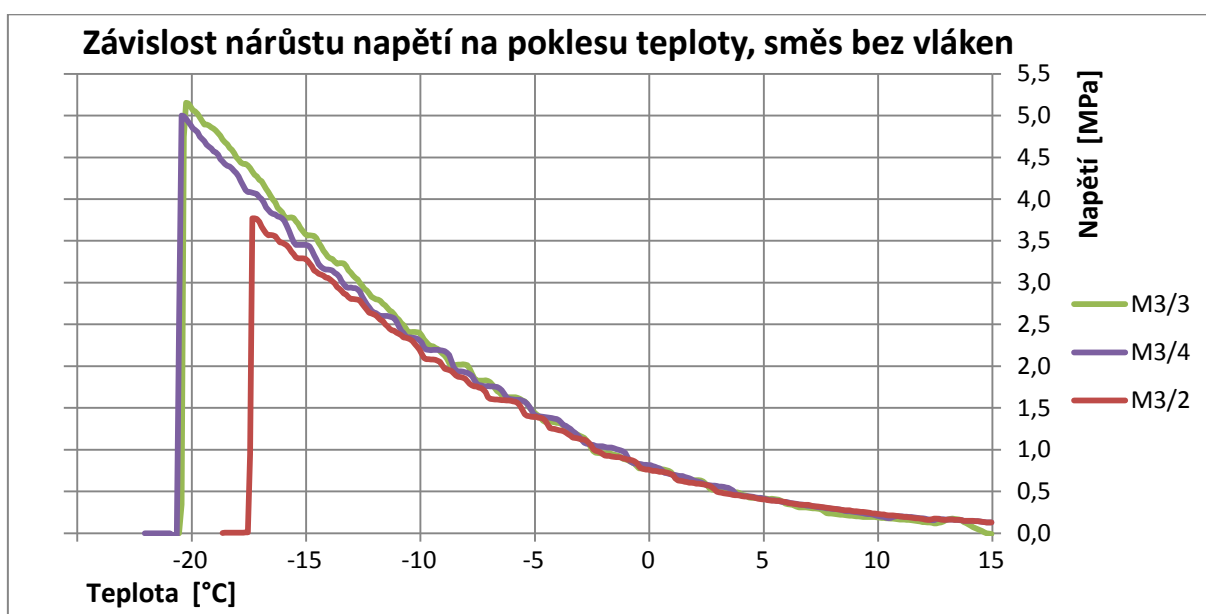
Obr. 33: Detail na mrazem porušeném zkušební těleso M3/3.

Všech 6 zkušebních těles bylo vystaveno nízkoteplotní zkoušce, kdy bylo zjišťováno při jaké teplotě a při jakém napětí bude těleso porušeno. Výsledky všech měření jsou zaneseny v následující tabulce.

Tab. 13: Výsledky měření nízkoteplotních vlastností obou směsí.

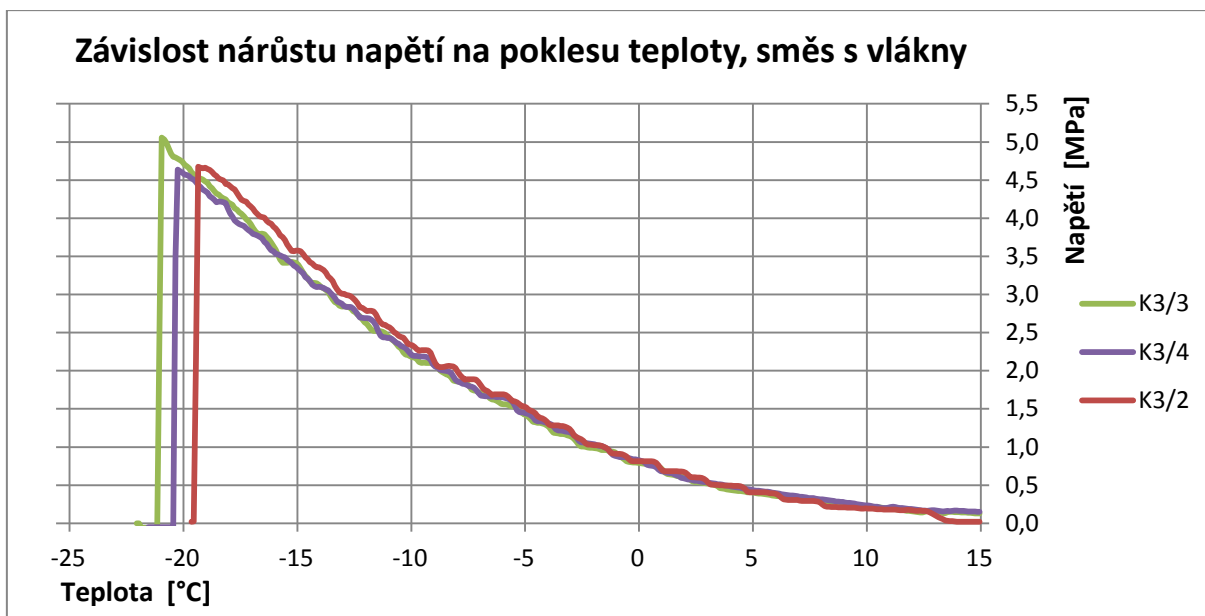
Výsledky nízkoteplotních vlastností						
Druh směsi	ACO 11S bez vláken			ACO 11S s vlákny		
Název vzorku	M3/2	M3/3	M3/4	K3/2	K3/3	K3/4
Max. síla při porušení [kN]	9,43	12,95	12,54	11,71	12,71	11,62
Max. napětí při porušení [Mpa]	3,77	5,18	5,01	4,68	5,08	4,65
Teplota v komoře při porušení [°C]	-21,7	-23,8	-24,1	-22,4	-24,2	-24,7
Teplota vzorku při porušení [°C]	-17,3	-20,3	-20,5	-19,4	-21,0	-20,3

Pro lepší přehlednost jsou výsledky zkoušek na tělesech vyrobených ze směsi bez aramidových vláken i s vlákny, vyneseny jednotlivě v následujících grafech.



Graf 5: Závislost nárůstu napětí na poklesu teploty na směsi bez aramidových vláken.

Ve zkušebním tělese M3/2 došlo k porušení dříve než v dalších dvou zkušebních vzorcích. To mohlo být způsobeno skrytou vadou v materiálu jako špatné zhutnění nebo obalení kameniva pojivem. Uchycení epoxidovým lepidlem do kovové formy bylo v pořádku a těleso se porušilo mimo prostor lepidla.



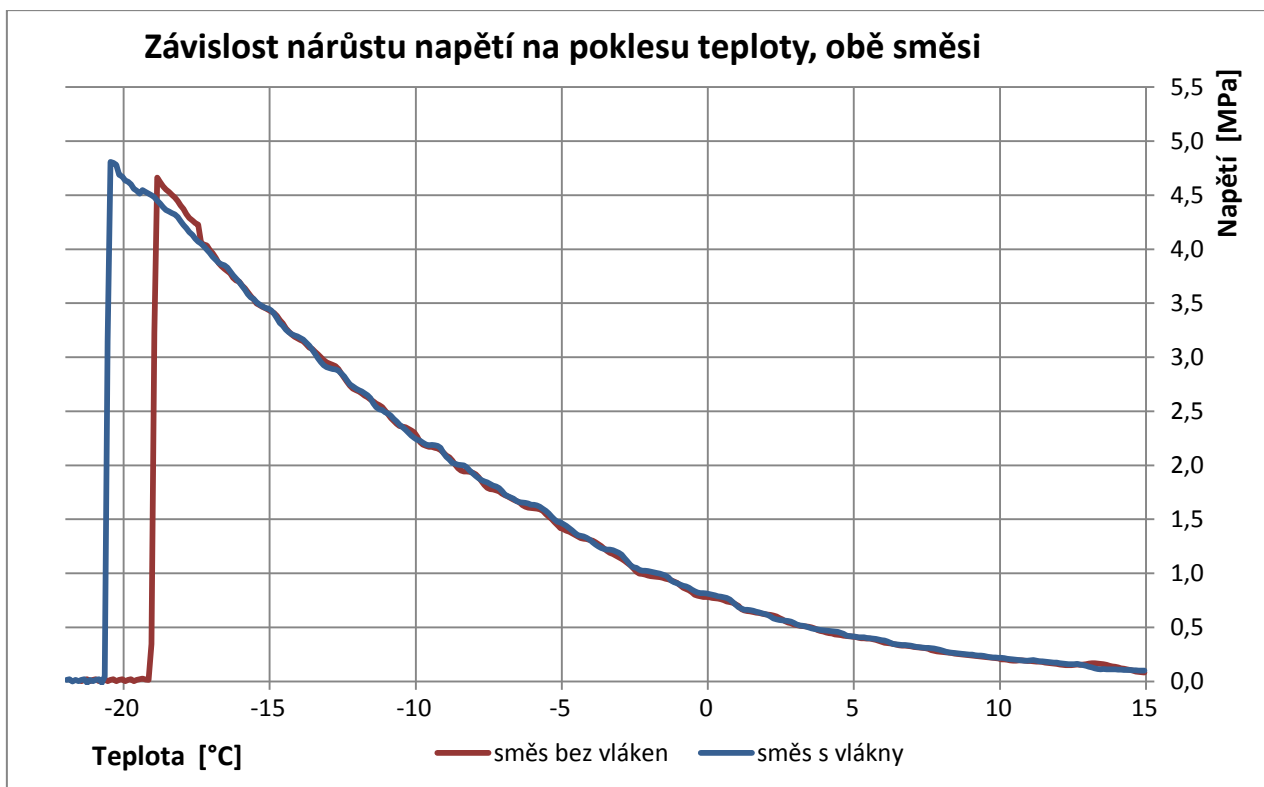
Graf 6: Závislost nárůstu napětí na poklesu teploty na směsi s aramidovými vlákny.

Všechny 3 zkoušky na tělesech vyrobených ze směsi s vlákny proběhla v pořádku a výsledky jsou velice podobné.

V následující tabulce a grafu je možné porovnat zprůměrované výsledky zkoušky obou zkoušených směsí.

Tab. 14: Průměrné výsledky měření nízkoteplotních vlastností za jednotlivé směsi.

Výsledky nízkoteplotních vlastností, ACO 11S		
Druh směsi	bez vláken	s vlákny
Max. síla při porušení [kN]	11,64	12,01
Max. napětí při porušení [Mpa]	4,66	4,81
Teplota v komoře při porušení [°C]	-23,20	-23,77
Teplota vzorku při porušení [°C]	-19,37	-20,23



Tab. 15: Zobrazení závislosti změny napětí na teplotě z průměrných výsledků obou zkoušek.

Z grafu i z tabulky je zřetelné, že obě směsi mají velice podobné nízkoteplotní vlastnosti. Dá se říci, že směs s aramidovými vlákny může být nevýrazně odolnější na vznik mrazových trhlin, ale bylo by důležité toto tvrzení ověřit na více zkušebních sadách. Závěrem lze říci, že aramidová vlákna ve směsi nemají výrazný vliv na nízkoteplotní vlastnosti směsi ACO 11S PmB 25/55-65.

8 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ

Všechny ceny uváděné v této kapitole jsou bez DPH. Cena vláken FORTA FI vláken je Kč 195,00 / 0,5 kg (dávka na tunu směsi). Dá se tedy říci, tato aramidová vlákna zdraží tunu směsi o 195,00 Kč. [16]

Cena asfaltových směsí se liší zejména na množství odběru a lokaci konkrétní obalovny. Následující ceny jsou běžně nabízené ceny při menších odběrech, tedy zhruba do 100 t. Ceny se mohou zásadně měnit při větších odběrech nebo při individuálních domluvách a vztazích mezi společnostmi. Asfaltové směsi ACO do obrusných vrstev s běžnými pojivy se pohybují v cenách od 1 920 Kč/t, asfaltové směsi ACL do ložných vrstev s běžnými pojivy se pohybují v cenách od 1 760 Kč/t. V případě použití modifikovaných pojiv jsou ceny ACO 11S PmB od 2 100 Kč/t a ACL 16S od 1 950 Kč/t. [17] [18]

Vzhledem k výzkumům provedeným Arizona, State University a na ČVUT v Praze jsou vlastnosti směsí s modifikovanými pojivy a směsí s běžným pojivem s FORTA FI vlákny srovnatelné. Při přičtení 195 Kč/t k cenám směsí s běžnými pojivy je cena směsi na tunu srovnatelná s cenami za směsi s modifikovanými pojivy. Proto je i ekonomické hledisko těchto směsí srovnatelné. Středočeské obalovny a.s. mají směs ACO 11S 50/70 FI v nabídce za 2 081 Kč/t, a směs ACO 11S PmB za 2 148 Kč/t. Směs vláken je o 67 Kč tj. o 3,1% na tunu levnější než obdobná směs s modifikovaným pojivem.

V případě přidání vláken FORTA FI do směsi ACO 11S PmB bude cena dosahovat zhruba 1 300 Kč/t, a tím bude směs výrazně dražší než ostatní běžně používané směsi

9 ZÁVĚR

Účelem této diplomové práce bylo shrnout a přinést teoretické i praktické poznatky o využití aramidových (kevlarových) vláken v asfaltových směsích.

V teoretické části práce byla popsána aramidová vlákna obecně. Pozornost byla věnována zejména historii, chemickému složení a využití aramidových vláken v dnešním světě. Dále byly popsány poznatky ze zahraničí, zejména studie z Arizona State University, ve které byl prokázán žádoucí vliv FORTA FI vláken ve směsi s běžným asfaltovým pojivem. Zkoušky prokazují zejména vyšší odolnost proti vzniku trhlin, šíření trhlin a trvalým deformacím. Zároveň ze studie vyplývá, že vyšší dávkování než 0,5 kg/t zlepšuje vlastnosti asfaltové směsi jen minimálně nebo vůbec. V České republice byla provedena studie v laboratořích ČVUT a EUROVIA. Tyto zkoušky prokázaly, že v případech kdy byla asfaltová směs vyztužená aramidovými vlákny porovnána s kontrolní směsí bez vláken, bylo vždy zjištěno zlepšení sledovaných vlastností. Také prokázaly, že směsi s nemodifikovaným pojivem vyztužené vlákny dosahovali lehce nižších, ale přesto srovnatelných výsledků jako směsi s modifikovaným pojivem.

V praktické části byly provedeny funkční zkoušky obou posuzovaných směsí. Při práci se směsí s vlákny byla zaznamenána přítomnost aramidových vláken na chování směsi, zejména na její soudržnosti při práci za horka, jak je zobrazeno na obrázku 24. V ostatních směrech byla zpracovatelnost obou směsí stejná. Pevnosti těles s aramidovými vlákny při zkoušce ITSr byly o 200 a více kPa nižší než pevnosti těles bez vláken. Tento výsledek je překvapivý a bylo by pravděpodobně třeba provést více zkoušení na více sadách zkušebních těles pro ověření těchto závěrů. Při zkoušce pojezdu kolem dosahovali obě směsi velice dobrých výsledků. Rozdíl hloubky vyjeté koleje je 0,04 mm ve prospěch směsi bez vláken. Při zkoušce modulu tuhosti dosahovali obě směsi vysokých hodnot modulu tuhosti, směs bez vláken měla modul o 2,5% vyšší než směs s aramidovými vlákny. Při měření nízkoteplotních vlastností se chovali obě směsi opět velice podobně. Směs s vlákny se projevila jako lehce odolnější proti vzniku mrazových trhlin, ale bylo by dobré toto tvrzení ověřit na více sadách zkušebních vzorků. V posledních třech popsanych zkouškách dosahovali obě směsi velice podobných až totožných výsledků. Směs

ACO 11S PmB 25/55-65 dosahuje výborných hodnot ve všech sledovaných vlastnostech a aramidová vlákna nedokázala zlepšit tyto vlastnosti. Větších rozdílů by bylo pravděpodobně dosaženo při použití nemodifikovaného pojiva.

Při přihlédnutí k ekonomickému hledisku a předchozímu výzkumu lze doporučit aramidová vlákna do většiny směsí bez modifikovaných pojiv. Vzhledem k neprokázání zlepšení vlastností ve zkoušené směsi a zároveň zvýšení finančních nákladů nelze doporučit použití aramidových vláken do směsi ACO 11S PmB 25/55-65. Využití aramidových vláken v ostatních směsích s modifikovaným pojivem nelze na základě výsledků doporučit ani naopak. Bylo by potřeba dalších zkoušek na různých směsích, což doporučuji jako námět na další diplomovou práci.

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. **DuPont s.r.o.** DuPont.cz. [Online] 2015. [Citace: 17. 12 2015.]
<http://www.dupont.cz/vyroby-a-sluzby/fabrics-fibers-and-nonwovens.html>.
2. **Safeguard Clothing.** safeguardclothing.com. [Online] 2015. [Citace: 18. 12 2015.]
<http://www.safeguardclothing.com/articles/the-history-of-kevlar/>.
3. **Jiangsu Haid New Material CO.,LTD.** jshaid.com. [Online] 20. 1 2013. [Citace: 17. 12 2015.] <http://www.jshaid.com/en/ProductsShow.asp?ProBid=135>.
4. **Engelhardt, Andreas.** issuu.com. *ISSUU*. [Online] 2010. [Citace: 17. 12 2015.]
http://issuu.com/oerlikontextile/docs/the_fiber_year_2009_10?e=1222875/2872580.
5. **MiniMagazine.** safety.autodealsmotive.biz. [Online] Minimagazine, 2015. [Citace: 17. 12 2015.] <http://safety.autodealsmotive.biz/jxhracing-u002n-two-layers-aramid-racing-underwear-pants-sfi-rated-small/>.
6. **Brian Dubé, Inc.** dube.com. [Online] 2014. [Citace: 17. 12 2015.]
<http://www.dube.com/kevlarwicking/rope.php>.
7. **DuPont.** dupont.com. [Online] 2015. [Citace: 18. 12 2015.]
<http://www.dupont.com/products-and-services/fabrics-fibers-nonwovens/fibers/brands/kevlar/products/dupont-kevlar-fiber.html>.
8. **Big Bike Mad.** BigBikeMad.com. [Online] 17. 9 2015. [Citace: 18. 12 2015.]
<http://bigbikemad.com/draggin-jeans-kevlar-biker-jeans-review/>.
9. **National Tsing-Hua University, Taiwan.** sciencedirect.com. [Online] 26. 2 2004. [Citace: 18. 12 2015.]
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.471.8863&rep=rep1&type=pdf>.
10. **Forta Corporation.** forta-fi.com. [Online] 2014. [Citace: 25. 12 2015.]
<http://www.forta-fi.com/pdfs/FORTA-FI-Brochure.pdf>.
11. **Kamil E. Kaloush, Ph.D., P.E.** *Evaluation of FORTA Fiber-Reinforced Asphalt Mixtures Using Advanced Material Characterization Tests*. Arizona : autor neznámý, 2008. str. 192. Jedná se o odborný Report. 200903AT101.

12. **California Department of Transportation.** CA.gov. [Online] State of California, 2015. [Citace: 27. 12 2015.]
http://www.dot.ca.gov/hq/maint/Pavement/Offices/Pavement_Engineering/PDF/pgb_faq.pdf.
13. **Ing. Petr Mondschein, ČVUT, Ph.D. a Ing. Petr Bureš, EUROVIA Services, s.r.o.** emzet.cz. [Online] 4 2010. [Citace: 3. 1 2016.]
<http://www.emzet.cz/download/produkty/souhrnnytestcvuteurovia.pdf>.
14. **eMZet s.r.o.** www.emzet.cz. [Online] 27. 10 2010. [Citace: 3. 1 2016.]
<http://www.emzet.cz/download/produkty/testvinarice.pdf>.
15. **Betonserver.** betonserver.cz. [Online] [Citace: 28. 11 2015.]
http://www.betonserver.cz/_cz/images/foto/foto_10167.jpeg.
16. **eMZet s.r.o.** emzet.cz. [Online] [Citace: 3. 12 2015.]
<http://www.emzet.cz/download/produkty/fortafibrochure.pdf>.
17. **Středočeské obalovny, a.s.** středočeské obalovny.cz. [Online] 23. 3 2015. [Citace: 3. 1 2016.] <http://www.stredoceskeobalovny.cz/cenik.pdf>.
18. **Obalovna Boskovice, s.r.o.** obalovna-boskovice.cz. [Online] 4. 3 2015. [Citace: 3. 1 2016.] <http://www.obalovna-boskovice.cz/upload/cenik.pdf>.

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Struktura meta-aramidu.....	12
Obr. 2: Struktura para-aramidu.....	12
Obr. 3: Nasekané aramidové vlákno společnosti Jiangsu CO., LTD. [3]	12
Obr. 4: Spodní prádlo odolné proti mechanickému poškození.	13
Obr. 5: Vysokopevnostní kotevní lano.	13
Obr. 6: Odolné pracovní rukavice.	14
Obr. 7: Kompozitní rám kola.....	14
Obr. 8: Vlákna HMA Blend.	15
Obr. 9: Nevzdušená asfaltová směs. Roznos zatížení při brzdění.	16
Obr. 10: Vzdušená asfaltová směs. Trojrozměrné rozložení sil při brzdění.	16
Obr. 11: Realizace rekonstrukce Jackson Hole Airport. [10]	21
Obr. 12: Realizace rekonstrukce Sheridan Country Airport. [10]	21
Obr. 13: Porovnání po rekonstrukci, pruh bez aramidových vláken a pruh s aramidovými vlákny [10].	22
Obr. 14: Zrekonstruovaná komunikace Ogden Avenue. [10].....	22
Obr. 15: Realizace rekonstrukce komunikace u Petrohradu. [10].....	23
Obr. 16: Realizace rekonstrukce konektoru dálnice. [10]	23
Obr. 17: Pokládka asfaltové směsi před obalovnou ve Vinařicích společnosti Bohemia Asfalt.	27
Obr. 18: Pokládka asfaltové směsi před sídlem společnosti SKANSKA v Olomouci.	28
Obr. 19: Pohled na Olomouckou obalovnu Hněvotín. [15]	29
Obr. 20: Výtažek z protokolu kontrolní zkoušky asfaltové směsi dodané laboratoří Hněvotín.	30
Obr. 21: Balená vlákna FORTA vlákna připravená k přidání do směsi na obalovně.	31
Obr. 22: Navážená směs připravená k rozehrátí a zhutnění.	33
Obr. 23: Rázový zhutňovač pro tvorbu Marshallových těles.....	34
Obr. 24: Rozehrátá směs s aramidovými vlákny před hutněním. Zřetelný vliv vláken ve směsi.	35
Obr. 25: Hutnění zkušební desky lamelovým zhutňovačem.	36
Obr. 26: Skupina „mokrých“ zkušebních těles ve vakuové komoře.	39
Obr. 27: Deska umístěna ve formě do zařízení simulující pojíždění kolem.	40

Obr. 28: Řezání trapezoidů ze zkušební desky kotoučovou pilou.	42
Obr. 29: Rozměr trapezoidu a nařezané trapezoidy připravené k nalepení.	42
Obr. 30: Umístění zkušebního trámečku v zkušebním zařízení CYKLON-40.	45
Obr. 31: Marshalova tělesa ze směsi ACO 11S bez vláken.	47
Obr. 32: Deska K4 po ukončení zkoušky pojíždění kolem.	49
Obr. 33: Detail na mrazem porušeném zkušební těleso M3/3.	53

12 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Propad kameniva na sítu, směsi PHX C-3/4.	17
Tab. 2: Výsledky odolnosti asfaltové směsi ACO 11S (Zbraslavice) vůči tvorbě trvalých deformací.	25
Tab. 3: Výsledky odolnosti asfaltové směsi ACO 11S (EUROVIA) vůči tvorbě trvalých deformací.	25
Tab. 4: Výsledky odolnosti asfaltové směsi ACL 22S (EUROVIA) vůči tvorbě trvalých deformací.	25
Tab. 5: Moduly tuhosti směsí v závislosti na zkušební teplotě a zkušební frekvenci.	26
Tab. 6: Objemová hmotnost zkušebních desek.	46
Tab. 7: Vyhodnocení zkoušky ITSR směsi bez aramidových vláken.	47
Tab. 8: Vyhodnocení zkoušky ITSR směsi s aramidovými vlákny.	48
Tab. 9: Vyhodnocení zkoušky pojezdu kolem.	49
Tab. 10: Výsledky měření modulu tuhosti na zkušebních vzorcích bez aramidových vláken.	51
Tab. 11: Výsledky měření modulu tuhosti na zkušebních vzorcích s aramidovými vlákny.	52
Tab. 12: Porovnání průměrných výsledků obou směsí.	52
Tab. 13: Výsledky měření nízkoteplotních vlastností obou směsí.	54
Tab. 14: Průměrné výsledky měření nízkoteplotních vlastností za jednotlivé směsi.	55
Tab. 15: Zobrazení závislosti změny napětí na teplotě z průměrných výsledků obou zkoušek.	56

13 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Křivka zrnitosti kameniva použitého pro testovanou směs PHX C-3/4.	17
Graf 2: Hloubka trvalé deformace v závislosti na počtu cyklů.	50
Graf 3: Poměrná hloubka trvalé deformace v závislosti na počtu cyklů.....	50
Graf 4: Grafické zobrazení závislosti modulu tuhosti na frekvenci.	52
Graf 5: Závislost nárůstu napětí na poklesu teploty na směsi bez aramidových vláken.....	54
Graf 6: Závislost nárůstu napětí na poklesu teploty na směsi s aramidovými vlákny.	55

14 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

%	procento
ρ	objemová hmotnost
°C	stupeň celsia
"	palec
4BP-PR	Čtyřbodové zařízení měřící tuhost asfaltových směsí
ACO 11S	Asfaltový beton pro obrusné vrstvy s maximální velikostí zrn kameniva 11 mm
ACL 22S	Asfaltový beton pro ložní vrstvy s maximální velikostí zrn kameniva 22 mm
cm	centimetr
cm ³	centimetr krychlový
g	gram
h	hodina
HMA	Hot Mix Asphalt
Hz	Hertz
kap.	kapitola
kg	kilogram
kg/m ³	kilogram na metr kubický
kPa	kilopascal
kN	kilonewton
L	délka
lb	libra
lb/Ton	libra na tunu
m	metr
mm	milimetr
MPa	megapascal
N	Newton
obr.	obrázek
p.j.	penetrační jednotka
PAT	Patch cold/hot

PHX C-3/4	Asfaltový beton vynalezený v Pheonexu s maximální velikostí zrn 0,7 palce
PmB	Polymer Modified Bitumen
PRD _{AIR}	poměrná hloubka vyjeté koleje
WMA	Warm Mix Asphalt
WTS _{AIR}	přírůstek hloubky vyjeté koleje

15 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Protokol kontrolní zkoušky asfaltové směsi
- Příloha 2: Měření nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi
- Příloha 3: Zaměření zkušebních těles, modul tuhosti
- Příloha 4: Ceníky asfaltových směsí

Příloha 1: Protokol kontrolní zkoušky asfaltové směsi

Skanska Asphalt s.r.o.
Pavelkova 6/1133, 772 11 Olomouc

Laboratoř s odbornou způsobilostí Hněvotín č.202

Počet stran : 1

Strana : 1

PROTOKOL č. 274Hn/15 KONTROLNÍ ZKOUŠKY ASFALTOVÉ SMĚSI

Zákazník :

Obalovna : Hněvotín

Název stavby :

Stavební objekt :

Odběr proveden v souladu s ČSN EN 12697-27, čl. 4.1

Druh směsi : ACO 11 S

Číslo ZT : HN020213

Odebral : Zapletal

Místo odběru : obalovna

Datum odběru : 19.8.2015

Čas odběru : 11:20

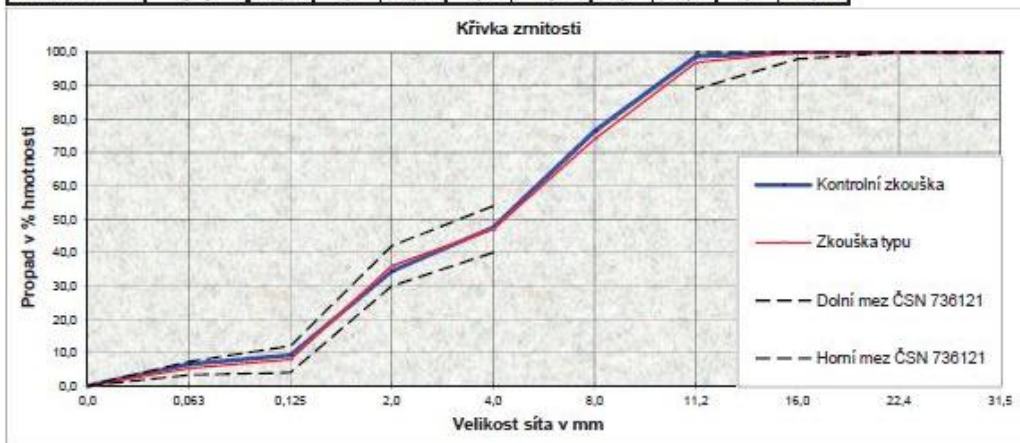
Datum příjmu : 19.8.2015

Datum zkoušky : 19.8.2015

Teplota směsi : 180 °C

KŘIVKA ZRNITOSTI

Síto	mm	31,5	22,4	16,0	11,2	8,0	4,0	2,0	0,125	0,063
Propad – KZ	%	100,0	100,0	100,0	98,8	76,4	47,5	34,4	9,2	6,5
Propad – ZT	%	100,0	100,0	100,0	97,0	74,0	47,0	36,0	8,0	5,3
Rozdíl KZ-ZT	(+/-)	0,0	0,0	0,0	1,8	2,4	0,5	-1,6	1,2	1,2



OBSAH POJIVA	Předepsaný	Stanovený
v % hmot. směsi	5,7	5,99

FYZIKÁLNĚ MECHANICKÉ VLASTNOSTI

Vlastnosti (protokol č.274Hn/15)	Výsledek zkoušky	Specifikace	
		Předpis*)	Hodnota**)
Stabilita (kN) - ČSN EN 12697-34			
Přetvoření (10 ⁻⁴ mm) - ČSN EN 12697-34			
Objem. hmotn. ztuhlé asf. směsi (Mg/m ³) - ČSN EN12697 - 6	2,408		
Max. objem hmotn. asf. směsi (Mg/m ³) - ČSN EN12697 - 5	2,459		
Mezerovitost (% objemu) - ČSN EN 12697 - 8	2,1	ČSN EN 13108-1	2,0 - 5,5

*) označení výrobkové specifikace, popř. Národní přílohy

**) meze(rozmezí) předepsaných hodnot

Závěr : Zjištěné výsledky jednotlivých zkoušek vyhovují požadavkům na hodnoty předepsaných kvalitativních parametrů směsi (ČSN EN 13108-1, ČSN 736121) Vyhovuje.

Prohlášení : Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených předmětů v protokolu uvedených.
Bez písemného souhlasu zkuš. laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak, než celý !

V Hněvotíně dne : 19.8.2015

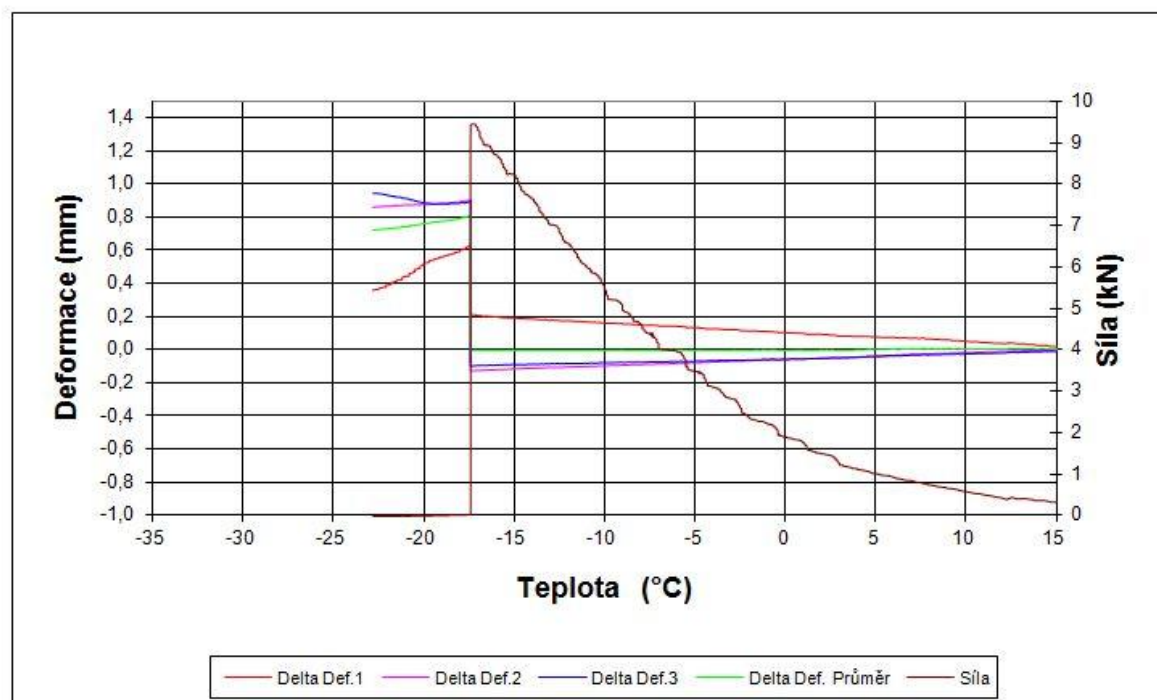
Obdrží : zákazník 1x

Vedoucí laboratoře - Josef Rýpar

Příloha 2: Měření nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

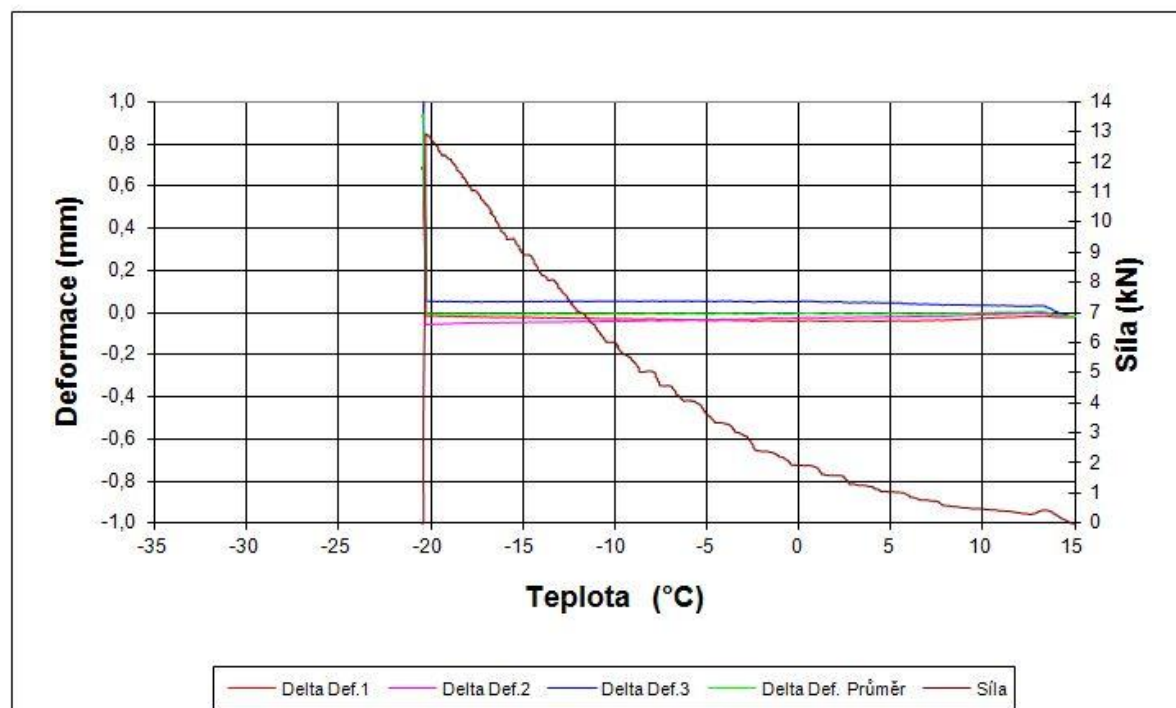
Akce :	Diplomová práce Jan Mazáč
Asfaltová směs :	M 3/2
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	13.10.2015
Zkoušku provedl :	Pavel
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	9,43
Max. napětí při porušení - MPa :	3,77
Teplota v komoře při porušení - °C :	-21,7
Teplota vzorku při porušení - °C :	-17,3



Měření nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

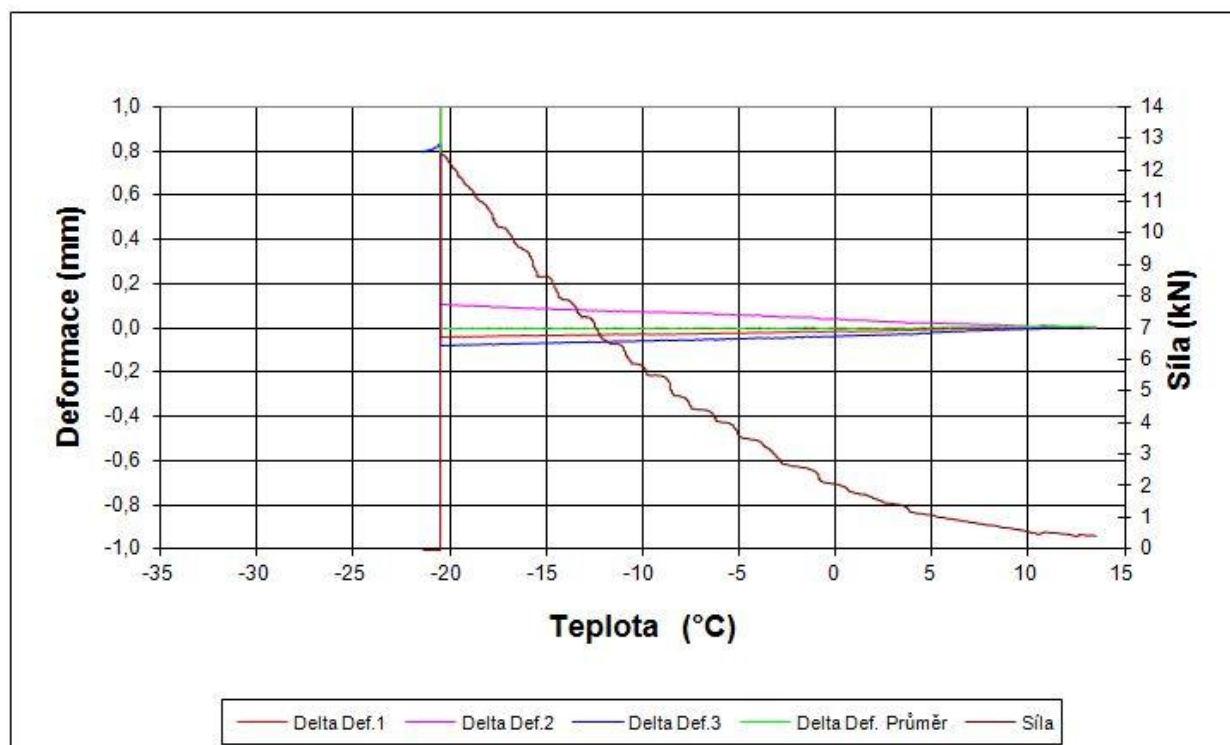
Akce :	Diplomová práce Jan Mazáč
Asfaltová směs :	M3/3
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	12.10.2015
Zkoušku provedl :	
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	12,95
Max. napětí při porušení - MPa :	5,18
Teplota v komoře při porušení - °C :	-23,8
Teplota vzorku při porušení - °C :	-20,3



Měření nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

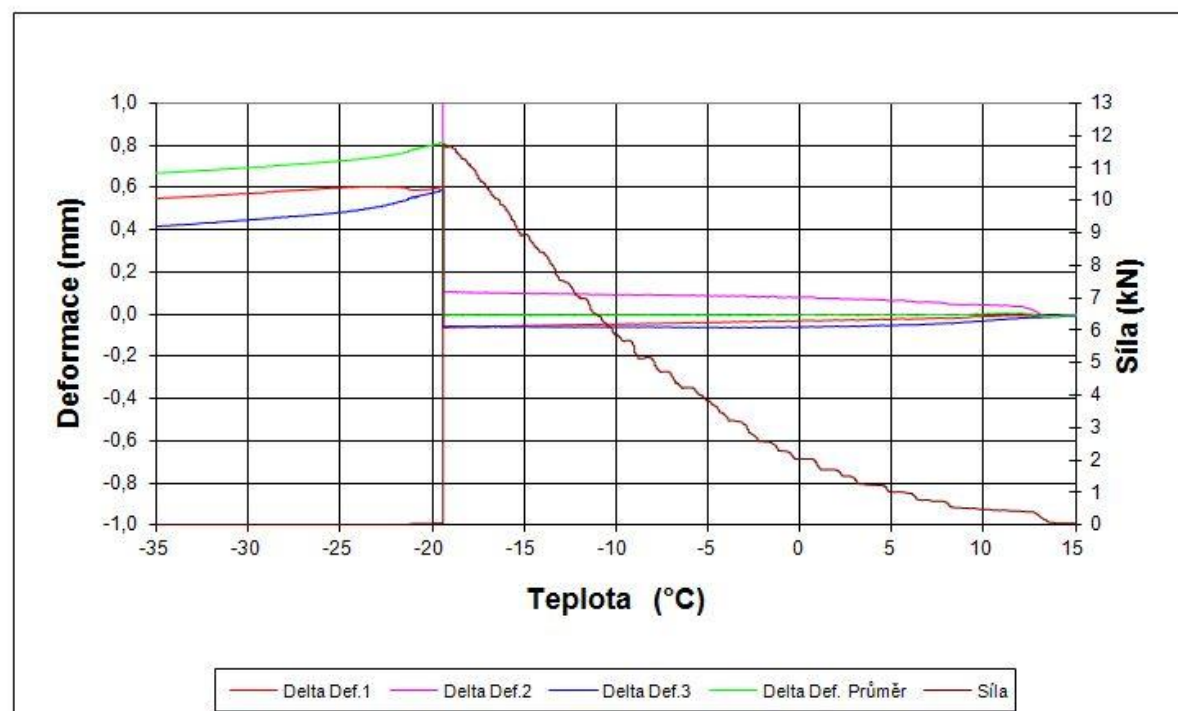
Akce :	Diplomová práce Jan Mazáč
Asfaltová směs :	M 3/4
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	29.10.2015
Zkoušku provedl :	Šafránek
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	12,54
Max. napětí při porušení - MPa :	5,01
Teplota v komoře při porušení - °C :	-24,1
Teplota vzorku při porušení - °C :	-20,5



Měření nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

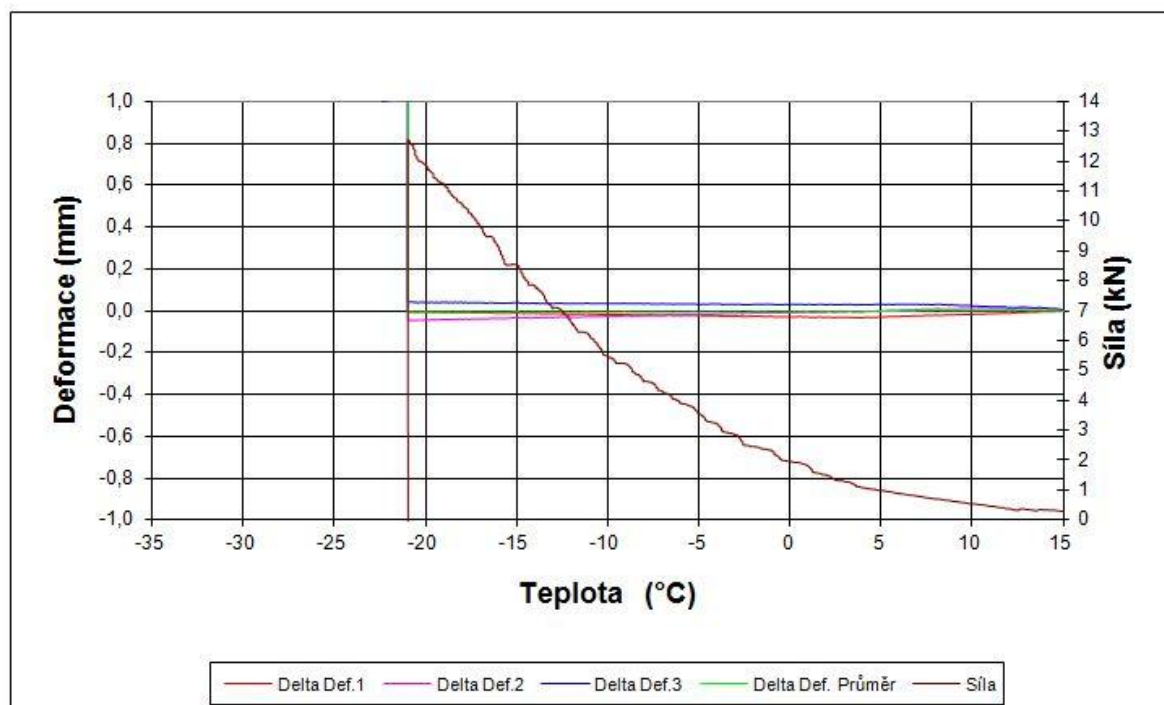
Akce :	Diplomová práce Jan Mazáč
Asfaltová směs :	K3/2
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	11.11.2015
Zkoušku provedl :	Mazi
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	11,71
Max. napětí při porušení - MPa :	4,68
Teplota v komoře při porušení - °C :	-22,4
Teplota vzorku při porušení - °C :	-19,4



Měření nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

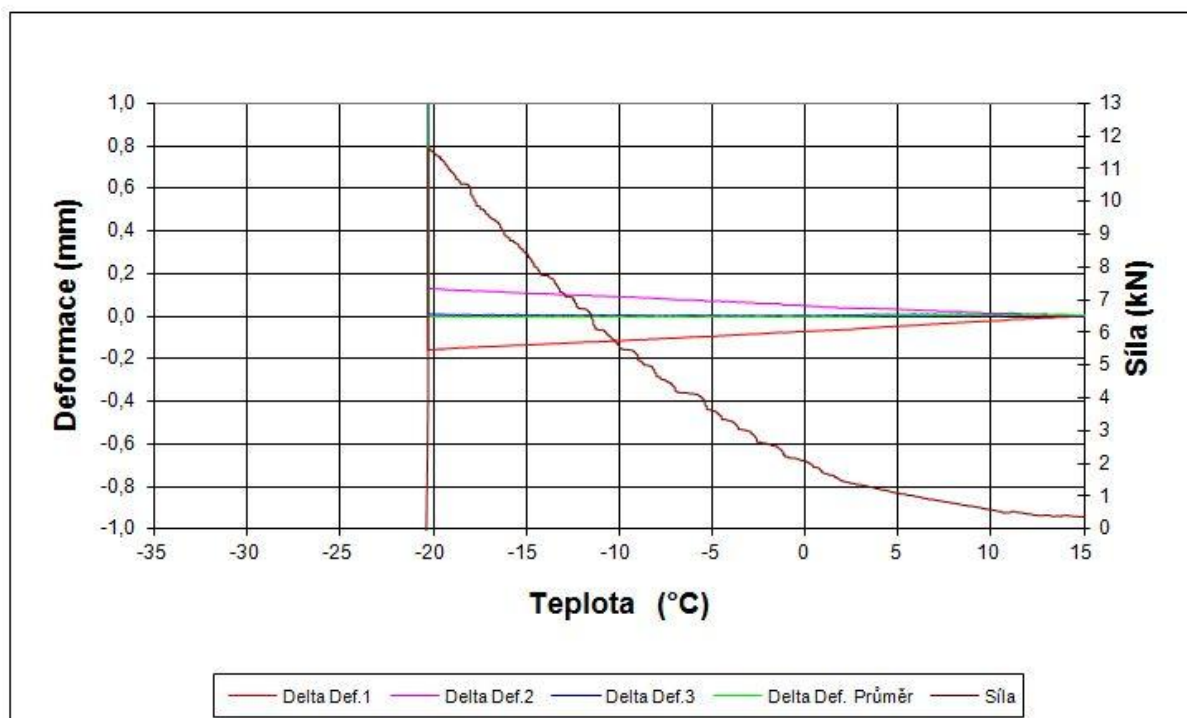
Akce :	Diplomová práce Jan Mazáč
Asfaltová směs :	K3/3
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	4.11.2015
Zkoušku provedl :	Mazac
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	12,71
Max. napětí při porušení - MPa :	5,08
Teplota v komoře při porušení - °C :	-24,2
Teplota vzorku při porušení - °C :	-21,0



Měření nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi

Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	Diplomová práce Jan Mazáč
Asfaltová směs :	K 3/4
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	12.11.2015
Zkoušku provedl :	Mazac
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	11,62
Max. napětí při porušení - MPa :	4,65
Teplota v komoře při porušení - °C :	-24,7
Teplota vzorku při porušení - °C :	-20,3



Příloha 3: Zaměření zkušebních těles, modul tuhosti

Vzorek	h1	h2	c	l	m	Poznámka
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	
M1/1	70,0	24,7	50,5	250,5	1,427	OK
M1/2	70,1	25,3	50,3	250,2	1,421	Vyřazen
M1/3	69,5	24,5	50,1	249,8	1,410	OK
M1/4	69,3	25,1	50,2	249,5	1,415	OK
M1/5	69,2	25,0	50,1	248,0	1,403	OK
M4/1	69,1	24,2	49,5	250,1	1,367	OK
M4/2	70,1	24,5	49,9	250,1	1,395	Vyřazen
M4/3	69,1	26,0	50,0	250,0	1,429	OK
M4/4	70,2	24,4	50,1	250,1	1,427	Vyřazen
M4/5	69,1	25,0	50,5	250,2	1,429	OK
K1/1	70,1	24,5	50,8	251,8	1,453	OK
K1/2	68,8	24,2	50,5	252,1	1,415	OK
K1/3	68,2	25,1	50,8	252,3	1,427	OK
K1/4	69,0	25,0	50,5	252,1	1,410	OK
K1/5	66,8	25,8	51,0	252,1	1,407	Vyřazen
K2/1	69,8	26,2	52,1	250,9	1,501	OK
K2/2	69,2	25,8	51,0	252,0	1,463	OK
K2/3	69,0	24,9	50,5	251,7	1,420	OK
K2/4	68,1	25,2	50,1	251,8	1,385	OK
K2/5	67,8	25,2	50,1	251,0	1,368	OK

Příloha 4: Ceníky asfaltových směsí

Středočeské obalovny, a.s.

Prodejní ceník asfaltových směsí

pro rok 2015

externí
změna cen vyhrazena

p.č.	Směs	Prodejní cena bez DPH Kč/t
1	ACO 8 50/70	1 954
2	ACO 11 50/70	1 925
3	ACO 11+ 50/70	1 923
4	ACL 16 50/70	1 767
5	ACL 16+ 50/70	1 770
6	ACL 16S 50/70	1 813
7	ACL 22+ 50/70	1 815
8	ACL 22S PMB	2 011
9	ACP 16+ 50/70	1 767
10	ACP 22+ 50/70	1 734
11	SMA 11S PmB	2 356
12	ACO 11S PmB	2 148
13	ACL 16S PmB	2 010
14	ACO 16+ 50/70	1 882
15	VMT 22 20/30	1 881
16	Lakovka	1 441
17	ACP 22S PmB	1 901
18	ACO 11S 50/70 FI	2 081
19	ACL 16S 50/70 FI	1 963

Tento ceník nabývá platnosti dnem 23.3.2015

STŘEDOČESKÉ OBALOVNY, a.s.

Milady Horákové 2754

Kladno - Křečehlavy, PSČ: 272 01

Schválil: Vladimír Majer

vedoucí obalovny

IČ: 247 42 023 Kontakt: tel: 602307637

DIČ: CZ24742023 [9]

Ceníky asfaltových směsí

Obalovna Boskovice s.r.o.

OBALOVNA BOSKOVICE

Obalovna Boskovice, s.r.o., Rovná 2146, 680 01 Boskovice, IČ: 292 01 896, DIČ: CZ 292 01 896, TEL: 516 528 249, 776 264 026

IDČ materiálu Typ		CENA bez DPH		Popis	PLATNOST: od 4.3.2015 do vydání nového ceníku		
		Odběr:					
		nad 100t	do 100t				
5890106	ACO 8 50/70	1790	1990	Asfaltový beton pro obrusné vrstvy 0/8 s asfaltem 50/70			
5890227	ACO 11+ 50/70	1741	1941	Asfaltový beton pro obrusné vrstvy 0/11 s asfaltem 50/70			
5890228	ACO 11S 50/70	1741	1941	Asfaltový beton pro obrusné vrstvy 0/11 s asfaltem 50/70			
5890226	ACO 11S PMB 45/80-65	1900	2100	Asfaltový beton pro obrusné vrstvy 0/11 s asfaltem PMB 45/80-65			
5890437	SMA 11S 50/70	1922	2122	Asfaltový koberec mastixový pro obrusné vrstvy 0/11 s asf. 50/70			
5890435	SMA 11S PMB 45/80-65	2102	2302	Asfaltový koberec mastixový pro obrus 0/11 s asf. PMB 45/80-65			
5890026	ACL 16S 50/70	1612	1812	Asfaltový beton pro ložní vrstvy 0/16 s asfaltem 50/70			
5890027	ACL 16S PMB 25/55-65	1752	1952	Asfaltový beton pro ložní vrstvy 0/16 s asfaltem PMB 25/55-65			
5890301	ACL 22S 50/70	1595	1795	Asfaltový beton pro ložní vrstvy 0/22 s asfaltem 50/70			
5890303	ACL 22S PMB 25/55-65	1709	1909	Asfaltový beton pro ložní vrstvy 0/22 s asfaltem PMB 25/55-65			
5890507	ACP 16S 50/70	1603	1803	Asfaltový beton pro podkladní vrstvy 0/16 s asfaltem 50/70			
5890511	ACP 22S 50/70	1558	1758	Asfaltový beton pro podkladní vrstvy 0/22 s asfaltem 50/70			
5890714	LAK 2/4 (50/70) Lhota R.	1382	1582	Zdršňovací kamenivo frakce 2/4 obalené asfaltem 50/70			
5890406	SMA 8-LA PMB 45/80-65	2132	2332	Asf. koberec mastix. nízkohlučný pro obrus 0/8 s PMB 45/80-65			

Držitel certifikátu ČSN EN ISO 9001:2009 – č. Q 1044 – 2 dne 19.8.2013

www.obalovna-boskovice.cz

Asfaltové směsi splňují požadavky příslušné normy řady ČSN EN 13108, ČSN 73 6121, ČSN 73 6127. Shoda asfaltové směsi s požadavky příslušné evropské normy je doložena počáteční zkouškou typu dle ČSN EN 13108-20 a řízením výroby u výrobce včetně posouzení výrobku dle ČSN EN 13108-21.

Označení CE je v souladu s výsledky zkoušek typu asfaltových směsí podle harmonizovaných českých technických norem:

- ČSN EN 13108-1:2008 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - část 1: Asfaltový beton

- ČSN EN 13108-5:2008 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - část 5: Asfaltový koberec mastixový

Výrobce na základě dále uvedených podkladů:

Osvědčení o shodě řízení výroby č. 1951-CPR-4105201 vydaného dne 12.8.2013 oznámeným subjektem NB 1951 SILMOS-Q s.r.o., Křižkova 70, Brno, PSČ 612 00.

Protokol o zkoušce typu asfaltových směsí vydaným zkušební laboratoří Porr a.s. akreditovanou CIA č.1192 potvrzuje, že vlastnosti výrobku splňují požadavky

N.v. č. 190/2002 Sb. kterým se stanoví tech. požadavky na vybrané stavební výrobky značené CE, ve znění pozdějších předpisů.

Ceník neslouží jako závazek objednávky. Jednotlivé dodávky se řeší individuálně dle kapacitních, množství a smluvních podmínek.

Jednorázový rozjezd obalovny na zakázku (rozjezd obalovny při výrobě menší než 9t): 2000 Kč bez DPH, Minimální odměr: 6t

Jednorázový rozjezd obalovny na zakázku (rozjezd obalovny při výrobě menší než 18t): 1000 Kč bez DPH

Vyšší odběry se řeší individuálně.